



Comune di Crema

Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo

Relazione generale

Ing. Bruno Becci



Ing. Marco Bellini



Rev. 1 – 07/2026 – Seconda emissione

IN.SPE SRL INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 2
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026

Sommario

1	Premessa	5
2	Riferimenti normativi.....	6
2.1	Normativa di riferimento.....	6
2.2	Normativa vigente all'epoca di costruzione.....	6
3	Riferimenti di letteratura	7
4	Riferimenti progettuali.....	8
4.1	Progetto di Fattibilità Tecnico Economica (precedente fase progettuale)	8
4.2	Campagna diagnostica delle strutture esistenti	8
4.3	Relazione Geologica - Geotecnica	8
4.4	Relazione Idraulica.....	8
4.5	Progetto Esecutivo	8
5	Descrizione dello stato di fatto	9
6	Livelli di conoscenza della struttura e fattori di confidenza.....	14
6.1	Analisi storico-critica.....	15
6.1.1	Interventi di revisione del corpo del ponte (1986-1989).....	15
6.1.2	Interventi sulle passerelle (1986-1989)	15
6.1.3	Interventi sulla pila in destra orografica (1986-1989)	16
6.1.4	Considerazioni sulla costruzione originaria	19
6.1.5	Note sul collaudo	23
6.2	Rilievo geometrico	23
6.2.1	Rilievo con tecnica laser-scanner.....	23
6.2.2	Rilievo fotografico del degrado.....	27
6.2.3	Considerazioni sulle criticità della struttura	34
6.3	Rilievi strutturali e indagini diagnostiche.....	34
7	Descrizione degli interventi previsti	36
7.1	Rifacimento completo dell'impalcato.....	36
7.2	Consolidamento delle pile	42
7.3	Consolidamento delle spalle.....	43
7.4	Consolidamento delle travi esistenti	45
7.5	Intervenenti protettivi delle travi esistenti e dei traversi ricollocati	47
7.6	Rifacimento del sistema di smaltimento delle acque di piattaforma	48
7.7	Platea di varo	48
8	Piano delle demolizioni	50
9	Piano di varo	52

IN.SPE SRL INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 3
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026

10	Caratterizzazione meccanica dei materiali esistenti.....	55
10.1	Acciaio per carpenteria originale.....	55
10.2	Acciaio per carpenteria interventi integrativi.....	55
10.3	Muratura.....	55
10.4	Calcestruzzo.....	57
11	Caratterizzazione meccanica dei materiali di progetto.....	58
11.1	Acciaio nuove strutture impalcato centrale (travi e traversi) S355J0W.....	58
11.2	Acciaio nuove strutture passerelle S355J0.....	58
11.3	Acciaio nuove strutture staffe porta impianti S355J0.....	58
11.4	Acciaio per pioli Nelson S235J2G3+C450 (UNI EN ISO 13918).....	58
11.5	Acciaio nuove strutture provvisionali S355JR.....	58
11.6	Calcestruzzo per soletta C35/45.....	58
11.7	Calcestruzzo per rinforzo spalle - elevazioni C35/45.....	58
11.8	Calcestruzzo per rinforzo spalle - fondazione C25/30.....	59
11.9	Calcestruzzo per rinforzo pile C32/40.....	59
11.10	Acciaio per micropali S355JR.....	59
11.11	Boiacca per micropali C25/30.....	59
11.12	Acciaio per bulloni impalcato CL.10.9 ad attrito.....	59
11.13	Acciaio per bulloni e barre filettate in generale CL.8.8 a taglio.....	60
11.14	Barre DYWIDAG 950/1050.....	60
11.15	Resina per inghisaggio di barre a strutture in c.a.....	60
11.16	Resina per inghisaggio di barre alla muratura.....	60
11.17	Resina per iniezioni nella muratura.....	60
11.18	Sintesi trattamenti superficiali elementi in acciaio.....	61
12	Calcolo del copriferro delle strutture definitive in c.a.....	62
13	Classe di esecuzione strutture metalliche definitive.....	63
13.1	Classe di importanza.....	63
13.2	Categoria di produzione.....	64
13.3	Categoria di servizio - Rischi connessi con l'utilizzo della struttura.....	64
13.4	Classe di esecuzione.....	65
14	Classe di esecuzione strutture metalliche provvisionali.....	66
14.1	Classe di importanza.....	66
14.2	Categoria di produzione.....	67
14.3	Categoria di servizio - Rischi connessi con l'utilizzo della struttura.....	67
14.4	Classe di esecuzione.....	68

15	Interferenze	69
16	Fasi di cantiere	70
17	Importo dei lavori	71

IN.SPE SRL INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 5
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026

1 Premessa

Oggetto del presente documento è la “Relazione generale” relativa al Progetto Esecutivo degli interventi di rinforzo strutturale e consolidamento dell’esistente ponte sul fiume Serio sito in via Cadorna nel Comune di Crema (CR), di cui ai seguenti riferimenti CUP B95F21000880004 – CIG B7CF5C3AFB.

L’intervento si configura come adeguamento statico e sismico ai sensi di NTC2018.



Figura 1-1: Inquadramento – vista satellitare dell’opera in oggetto (Fonte: Google Earth)



Figura 1-2: Inquadramento – vista satellitare dell’opera in oggetto (Fonte: Google Earth)

IN.SPE SRL INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 6
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026

2 Riferimenti normativi

2.1 Normativa di riferimento

Le presenti verifiche sono state condotte con riferimento alla seguente normativa italiana:

- [1] D.M. 17/01/2018 – “Norme Tecniche per le Costruzioni”.
- [2] Circ. C.S.LL.PP. n. 7 del 21 gennaio 2019, “Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”.

2.2 Normativa vigente all’epoca di costruzione

In base alle informazioni reperite l’opera risulta costruita verso la fine dell’Ottocento (1890 circa). Non sono disponibili normative di riferimento.

Nel corso del tempo il ponte è stato ricontrollato considerando la seguente normativa:

- [3] “Norme relative ai carichi per il calcolo dei ponti stradali” – Min. LL.PP. Consiglio Superiore 14/02/1962 n° 384.

IN.SPE SRL INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 7
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026

3 Riferimenti di letteratura

Ai fini dell'analisi storico-critica dell'opera si è fatto riferimento alla seguente documentazione:

- [4] “Manuale dell'ingegnere civile e industriale”, a cura dell'Ing. G. Colombo, Ulderico Hoepli, XI edizione 1890.
- [5] “Verifica della stabilità dei Solai in ferro e voltine delle Infermerie. Lettura del Socio ing. G. G. FERRIA. FATTA LA SERA DEL 6 DICEMBRE 1899”.
- [6] “Etudes pratiques sur la construction. Planchers et poutres en fer” Paris Dunod Editeur. 1863, di cui si riportano i seguenti stralci.
- [7] Wright, R., & Walker, W. (1971). Vibration and deflection of steel bridges. AISC Engineering Journal, 9(1), 20–31. <https://doi.org/10.62913/engj.v9i1.178>.

IN.SPE SRL INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 8
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026

4 Riferimenti progettuali

4.1 Progetto di Fattibilità Tecnico Economica (precedente fase progettuale)

[8] Documenti del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica

4.2 Campagna diagnostica delle strutture esistenti

[9] Comune di Crema (CR) Ponte “Cadorna” via Luigi Cadorna Comune di Crema (CR) – Indagini Strutturali
– MTS Engineering srl Marzo 20219

4.3 Relazione Geologica- Geotecnica

[10] Ponte di via Cadorna - Ripristino strutturale - Relazione geologico tecnica - Geol. Francesco Serra

4.4 Relazione Idraulica

[11] Ponte di via Cadorna - Ripristino strutturale - Relazione idraulica - Ing. Fabrizio Bellini

4.5 Progetto Esecutivo

[12] Documenti del Progetto Esecutivo – IN.SPE srl Dicembre 2025

IN.SPE SRL INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 9
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026

5 Descrizione dello stato di fatto

Il ponte, costruito alla fine dell'Ottocento, è a struttura in acciaio e si sviluppa su tre campate rispettivamente di luce 29,40 m – 35,11 m - 29,40 m.

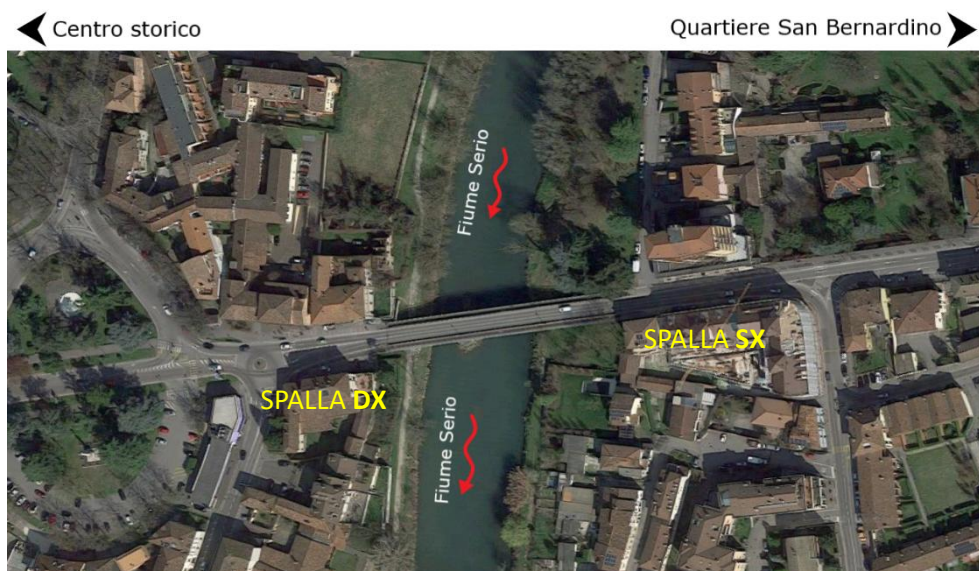


Figura 5-1: Localizzazione del manufatto



Figura 5-2: Fotografia – Vista prospettica del manufatto

Esso è costituito sostanzialmente da due travi principali reticolari in acciaio, alte 2700 mm, a via intermedia. La struttura secondaria è costituita da traversi, irrigiditi con piastroni di attacco ai montanti. I traversi scaricano la struttura di impalcato, in c.a., ordita normalmente all'asse del ponte attraverso un'orditura terziaria

IN.SPE SRL INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 10
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026

costituita da profili a C, sulle due travi longitudinali. Le pile sono costituite da blocchi monolitici in muratura che scaricano direttamente su plinti in c.a., uno dei quali è posizionato all'interno dell'alveo del fiume.



Figura 5-3: Fotografia – Dettaglio della pila

Sono presenti due passerelle pedonali esterne, che aggettano dalle travi principali, di larghezza pari a 2m ciascuna. La carreggiata è larga 7,10m asse – asse trave.



Figura 5-4: Fotografia – Dettaglio della pila

IN.SPE SRL INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 11
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026

La struttura del ponte è tipica del periodo a cavallo tra 1800 e 1900: le strutture principali sono costituite da travi reticolari con diagonalali incrociate a doppia orditura costituite da aste molto fitte e di sezione relativamente snella.



Figura 5-5: Fotografia – Dettaglio del corrente superiore trave reticolare



Figura 5-6: Fotografia – Dettaglio del corrente inferiore della trave reticolare

IN.SPE SRL INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 12
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026

I profili principali del ponte (correnti, traversi, ecc.) sono costituiti da membrature composte, realizzate con l'accoppiamento di piatti mediante angolari (cantionali) collegati tra loro con chiodature a passo fitto.

I correnti hanno sezione variabile, infatti, il numero di piatti che costituisce la piattabanda varia lungo lo sviluppo del ponte in funzione dell'impegno statico. Di seguito si riporta uno schema delle sezioni che compongono i correnti.

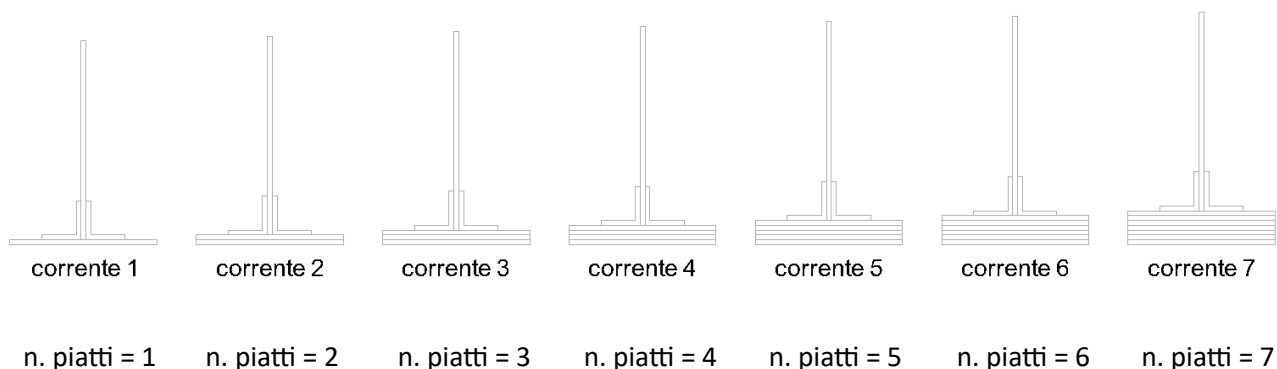


Figura 5-7: Sezioni trasversali dei correnti delle travi reticolari

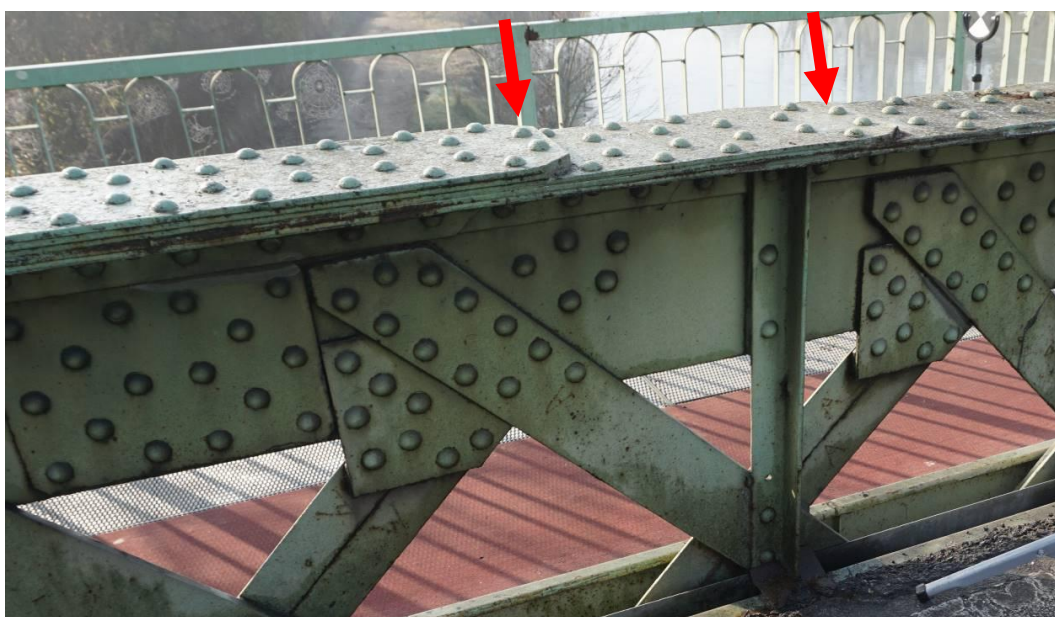


Figura 5-8: Fotografia - Dettaglio del corrente superiore della reticolare. Nell'immagine viene indicata, con una freccia rossa, la sovrapposizione dei piatti che costituiscono la piattabanda del profilo



Figura 5-9: Fotografia - Dettaglio del corrente inferiore della reticolare. Nell'immagine viene indicata, con una freccia rossa, la sovrapposizione dei piatti che costituiscono la piattabanda del profilo

Le passerelle pedonali, poste ai lati della carreggiata sono state realizzare a posteriori, nel 1988-89, nell'ambito di alcuni lavori di rinforzo di una pila e pulizia e verniciatura delle strutture metalliche del ponte.

La struttura metallica delle passerelle, caratterizzata dal medesimo interasse della struttura del ponte, scarica direttamente sulle travi reticolari.

Le due travi reticolari supplementari, situate sotto all'impalcato, sono state aggiunte nel 1967 a seguito di un ri-calcolo di controllo della struttura da parte dell'Ing. Poiaga. Queste nuove travature metalliche appoggiate sulle pile, hanno un'altezza di 800 mm.



Figura 5-10: Fotografia - Dettaglio dell'intradosso del ponte con indicate, con una freccia rossa, le reticolari aggiunte a posteriori

6 Livelli di conoscenza della struttura e fattori di confidenza

Nelle costruzioni esistenti è cruciale la conoscenza della struttura (geometria e dettagli costruttivi) e dei materiali che la costituiscono. Per questo motivo le NTC introducono un'altra categoria di fattori di sicurezza, i "fattori di confidenza", strettamente legati al livello di conoscenza conseguito nelle indagini conoscitive. Questi fattori vanno a ridurre le resistenze dei materiali per ricavare i valori da adottare nel progetto (o nella verifica).

Tabella C8.5.IV – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti metodi di analisi ammessi e valori dei fattori di confidenza, per edifici in calcestruzzo armato o in acciaio

Livello di conoscenza	Geometrie (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC (*)
LC1		Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>indagini limitate</i> in situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>prove limitate</i> in situ	Analisi lineare statica o dinamica	1,35
LC2	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione; in alternativa rilievo completo ex-novo	Elaborati progettuali incompleti con <i>indagini limitate</i> in situ; in alternativa <i>indagini estese</i> in situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali, con <i>prove limitate</i> in situ; in alternativa da <i>prove estese</i> in situ	Tutti	1,20
LC3		Elaborati progettuali completi con <i>indagini limitate</i> in situ; in alternativa <i>indagini esaustive</i> in situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto, con <i>prove estese</i> in situ; in alternativa da <i>prove esaustive</i> in situ	Tutti	1,00

(*) A meno delle ulteriori precisazioni già fornite nel § C8.5.4.

La tabella C8.5.IV, tratta dalla Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 - Istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018, consente di individuare il più corretto processo conoscitivo da adottare, in relazione alle informazioni già disponibili ed alle attività di diagnostica previste, per conseguire un prefissato Livello di Conoscenza della struttura.

Tabella C8.5.VI – Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prova per edifici di acciaio

Livello di Indagini e Prove	Rilievo (dei collegamenti) ^(a)	Prove (sui materiali) ^{(b)(c)(d)}
	Per ogni elemento "primario" (trave, pilastro...)	
<i>limitato</i>	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 15% degli elementi	1 provino di acciaio per piano dell'edificio, 1 campione di bullone o chiodo per piano dell'edificio
<i>esteso</i>	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 35% degli elementi	2 provini di acciaio per piano dell'edificio, 2 campioni di bullone o chiodo per piano dell'edificio
<i>esaustivo</i>	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 50% degli elementi	3 provini di acciaio per piano dell'edificio, 3 campioni di bullone o chiodo per piano dell'edificio

In riferimento alle finalità dell'incarico, tenuto conto del reperimento di documentazione d'archivio e delle indagini effettuate, il Livello di Conoscenza raggiunto è LC2 (Conoscenza adeguata):

- **Geometria:** è nota dai disegni originali e dai risultati del rilievo topografico tramite rilievo laserscanner e rilievo geometrico.
- **Dettagli costruttivi:** desunti da estese verifiche in situ.
- **Proprietà dei materiali:** desunte da prove effettuate in situ.

Il fattore di confidenza corrispondente al livello di conoscenza LC2 è pari a FC = 1.2.

Di seguito è descritto il percorso conoscitivo messo in atto, con il sunto dei risultati di ogni fase.

IN.SPE INGEGNERI SPECIALISTI SRL	Comune di Crema	Pag. 15
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026

6.1 Analisi storico-critica

La documentazione progettuale originale costituisce la base da cui partire per raggiungere il livello di conoscenza delle strutture da verificare, in particolare circa la qualità dei materiali, le tecniche realizzative utilizzate ed i dettagli costruttivi.

La prima fase di ricerca e studio della documentazione d'archivio, supportata dall'U.T. del Comune di Crema non ha dato risultati riguardo la costruzione originale del ponte.

Sono stati, invece, reperiti i documenti completi riguardanti l'intervento di rinforzo e ripristino del 1987-1989. In particolare, sono stati reperiti i seguenti documenti:

- Progetto di sistemazione della pila in destra orografica, a firma dell'Ing. Poiaga, datato 1986.
- Progetto di revisione del corpo del ponte, a firma dell'Ing. Poiaga, datato 1986.
- Progetto di rifacimento delle passerelle, a firma dell'Ing. Poiaga, datato 1986.
- Certificato di collaudo del 06/11/1989, a firma dell'Ing. Mario Corielli.

6.1.1 Interventi di revisione del corpo del ponte (1986-1989)

La relazione illustrativa dell'intervento indica che al momento della redazione il ponte si trovava in buono stato di conservazione e che a completamento dell'intervento di riassetto dell'opera è necessaria una revisione generale del corpo del ponte volto alla conservazione nel tempo delle strutture.

6.1.2 Interventi sulle passerelle (1986-1989)

I due camminamenti pedonali originari erano costituiti da passerelle pedonali di larghezza 1,50 metri esterne alla carreggiata, sostenute da una serie di mensole con passo 2 metri fissate alle travi principali del ponte stradale.

Il piano di calpestio era costituito da piastre rettangolari in c.a.a. aventi dimensioni 145x30x8 cm e appoggiate su correnti aventi interasse di 1,20 m circa.

La relazione illustrativa dell'intervento indica che al momento della redazione le mensole ed i correnti del ponte si trovavano in condizioni di staticità e di degrado corrosivo tali da non garantire la sicurezza per il passaggio dei pedoni.

Si fa, inoltre, riferimento a elevati carichi permanenti portati dalle passerelle (lastre in c.a. e parapetti) tali da coprire il 50% del carico utile del camminamento.

Per questo motivo è stata prevista la sostituzione dei camminamenti con nuove strutture, unitamente al risanamento dei punti di attacco delle saette delle mensole sui correnti inferiori del ponte.

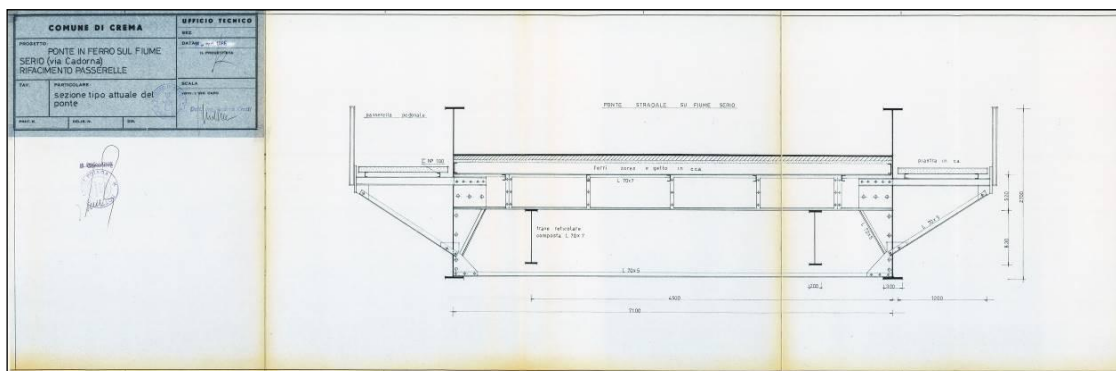


Figura 6-1: Sezione ripo del ponte – prima dell'intervento sulle passerelle

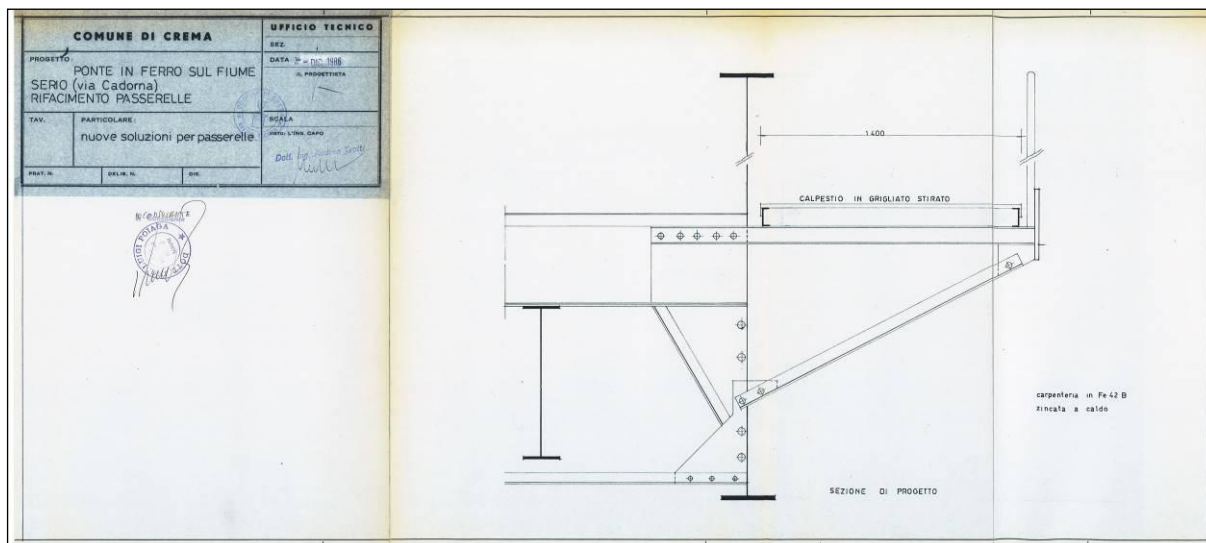


Figura 6-2: Sezione ripo del ponte – stato di progetto (dettaglio passerella)

6.1.3 Interventi sulla pila in destra orografica (1986-1989)

Nel mese di giugno del 1986 in occasione dei lavori di ricalibro dell'alveo eseguiti per conto del Magistrato del Po, è stata rimossa la scogliera in blocchi di cls. posti a protezione della fondazione delle pile in destra orografica.

Prima di procedere con questi lavori è stata affidata a ditta specializzata l'esecuzione di due sondaggi sul lato a monte della pila, per indagare lo stato di consistenza della pila stessa, dei sedimenti sottostanti e delle condizioni di appoggio della pila su detti sedimenti.

I sondaggi hanno restituito la seguente stratigrafia:

- da estradosso fondo a quota -2.5 m: calcestruzzo di buona consistenza (fondazione esistente)
- da quota -2.5 m a quota -3.5 m: materiale compattato/calcestruzzo di scarsa consistenza (sottofondazione)
- da quota -3.50 m a quota 6 m sabbie e ghiaie

oltre ad una situazione estremamente pregiudiziale per la sicurezza dell'intero ponte con fenomeni di erosione e scalzamento incipienti.

Pertanto, è stata prevista la messa in opera dei seguenti interventi:

- fase 1: realizzazione di paratie di lunghezza 12 m e spessore 60 cm a perimetro dell'esistente
- fase 2: scapitozzatura delle paratie ed incamiciatura dell'allora attuale fondazione esistente, di larghezza 3.6 m e spessore 2.5 m, mediante cerchiatura in c.a. di spessore 60 cm e solidarizzazione alla fondazione esistente mediante n.10 tiranti metallici diametro 30 mm disposti a passo 1 m
- fase 3: consolidamento del terreno all'interno delle paratie mediante iniezioni di cemento e bentonite

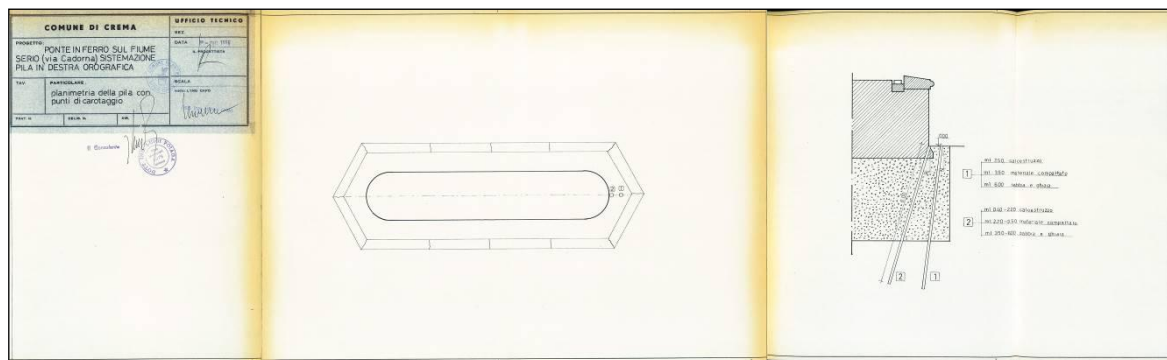


Figura 6-3: Tavola di indagine – rappresentazione dei sondaggi effettuati

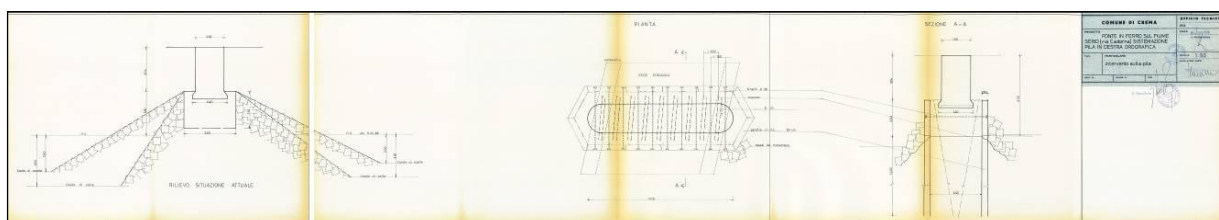


Figura 6-4: Tavola di progetto – rappresentazione degli interventi di rinforzo della pila



Figura 6-5: Foto dello stato attuale della pila (situazione post-opera)

Di seguito si riportano i dettagli.

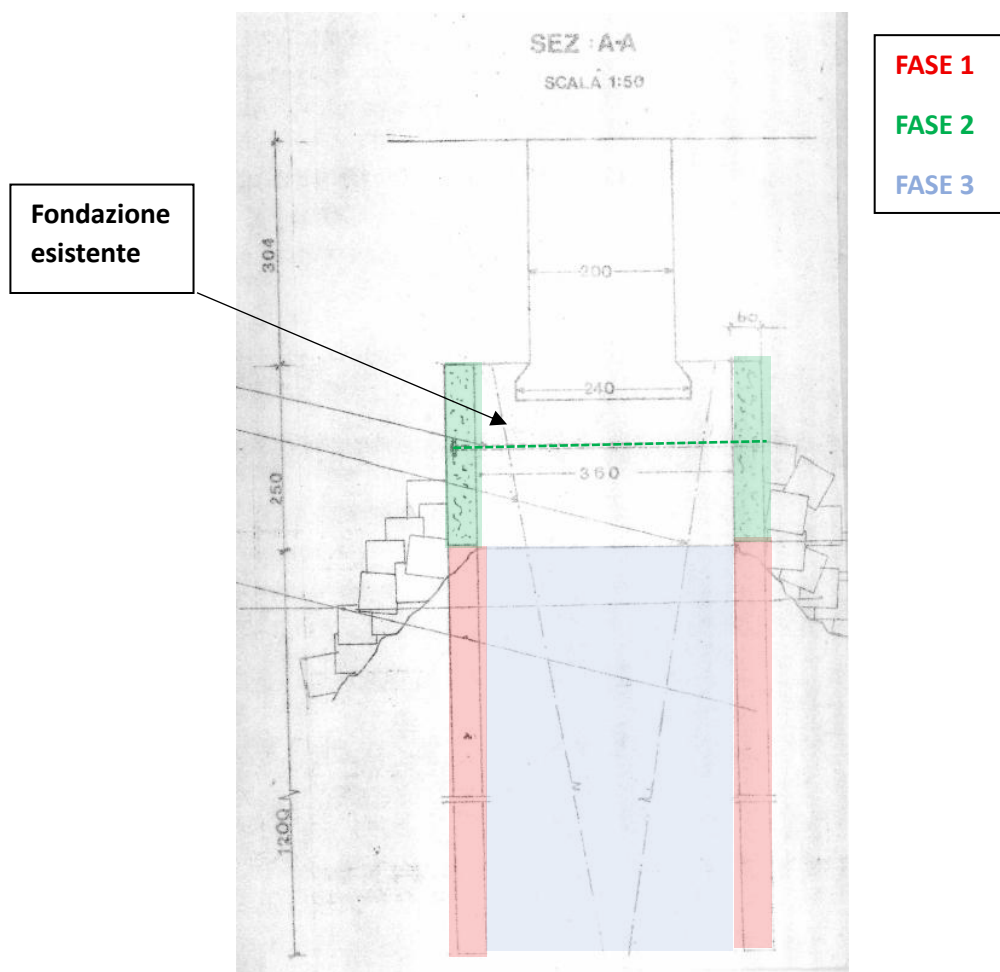


Figura 6-6: Tavola di indagine – sezione degli interventi

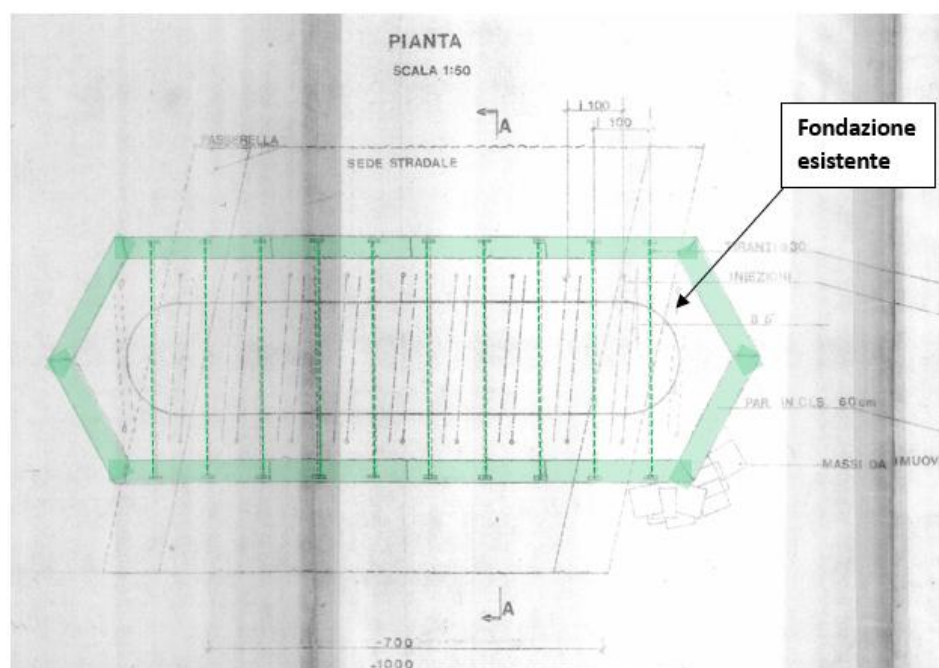
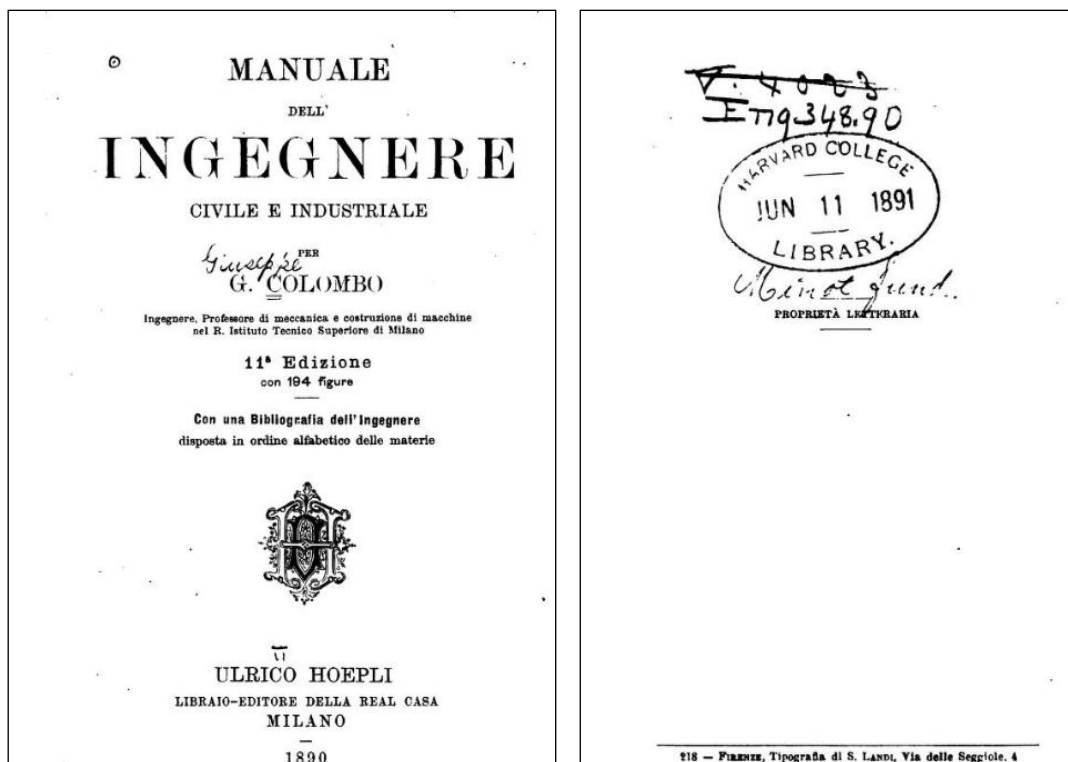


Figura 6-7: Tavola di indagine – pianta degli interventi

6.1.4 Considerazioni sulla costruzione originaria

In mancanza di documentazione del progetto originale, per l'analisi delle opere esistenti si è fatto riferimento alla letteratura specifica di settore ed alla ricerca bibliografica riguardanti manuali e pubblicazioni tecniche del periodo di costruzione. Di seguito si riportano gli estratti dalla documentazione più rilevante.

In primo luogo, si è fatto utile riferimento alle indicazioni riportate nel "Manuale dell'ingegnere civile e industriale", a cura dell'Ing. G. Colombo, Ulderico Hoepli, XI edizione 1890.



Il manuale riporta alcune indicazioni riguardanti le caratteristiche meccaniche dei materiali tipici dell'epoca di costruzione, da comparare con i risultati delle prove di trazione di laboratorio.

XXIX TABELLA. — COEFFICIENTI DI RESISTENZA (Kil. per mmq. di sezione)						
Materiale	Modulo di elasticità medio E	Carico di rottura R		Carico al limite di elasticità T	Carico di sicurezza K (vedi N.º 100)	
		Traz.	Compr.		Macch.	Costruz.
Ferro comune, o saldato (<i>soudé</i>).	20000	30-35	28-30	tras. 15-16	4-5	8-10
Ferro fuso (<i>fondu</i>).	"	35-40	"	" 18-25	5-7	10-13
Acciaio saldato ..	21000	60-75	> 70	" 30-40	8-12	18-24
Acciaio fuso dolce	"	40-60	> 80	" 25-35	7-11	13-20
Acciaio fuso duro.	"	60-75	"	" 30-40	8-12	18-24
Filo di ferro	20000	45-60	—	" 24-30	7-9	14-18
Filo d'acciaio	21000	75-95	—	" 37-50	9-16	24-30

IN.SPE SRL INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 20
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento	Relazione generale
	del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Rev. 1 – 07/2026

Allo stesso modo, non essendo disponibile al momento della costruzione una normativa dello Stato Regio specifica sui ponti e sui carichi, si fa riferimento al manuale citato per utile paragone ai carichi usualmente considerati all'epoca di progetto.

140. Carichi accidentali e permanenti nei ponti stradali. — Larghezza netta 2 ^m ,50 ÷ 3 ^m per ponti da pedoni; per ponti da carri 4 ^m ÷ 6 ^m per la sola carreggiata; 7 ^m ÷ 8 ^m per carreggiata e marciapiedi.	
1) <i>Carico accidentale massimo:</i> Per una folla compatta si calcola 350 ÷ 400 kil. al mq. in campagna e 450 kil. in città. Nell'ipotesi più sfavorevole si può ritenere il seguente valore di <i>p</i> (carico accidentale massimo per m. corr.), per un ponte di 5 ^m di carreggiata e 2 marciapiedi di 1 ^m cadauno:	
Luce della travata <i>L</i>:	m. 5 10 15 20 e più
Valore di <i>p</i>	kil. 3900 3600 3200 2800
Per le forze verticali si riterrà: $p_1 = 1500 + \frac{13000}{L}$	
finché <i>p</i> ₁ non risulta < 2800 kil., da considerarsi come un minimo.	
2) <i>Peso proprio.</i> — a) Orditura del piano stradale per ponti di 5 ^m di carreggiata, con marciapiedi di 1 ^m : Ponti in pietra: approssimativamente 7000 kil. per m. corr. Ponti in ferro o legno, carreggiata in ghiaia: 3500 kil. per m. corr. Ponti in ferro o legno, carreggiata in legno: 1600 kil. per m. corr.	
La sola carreggiata in ghiaia di 0 ^m ,20 di spessore pesa circa 2200 kil. per m. corr. La carreggiata in tavole 250 ÷ 350 kil.	
b) <i>Peso appross. P delle travature maestre longitudinali per m. corr.:</i> $P = a L$	
Per ponti in ferro con carreggiata in ghiaia... <i>a</i> = 35 ÷ 40 Per ponti in ferro con carreggiata in legname. <i>a</i> = 24 ÷ 30 Per ponti in legno <i>a</i> = 60 ÷ 80	
c) <i>Peso complessivo q per m. corr.</i> = alla somma dei pesi in a) e b). Il peso del ferro, nei ponti metallici, si ottiene deducendo il peso della carreggiata.	

Si può notare come la larghezza della carreggiata stradale attuale, pari a 7 metri, corrisponda a quanto previsto usualmente all'epoca di costruzione per impalcati da ponte stradali: 5 metri di carreggiata più 2 metri per i marciapiedi (un metro per lato). Successivamente alla costruzione del ponte sono stati realizzati i camminamenti pedonali esterni, poi sostituiti da nuovi camminamenti nell'ultimo intervento di restauro, ottenendo una larghezza complessiva dell'impalcato pari a 11 metri (7 metri di carreggiata più 4 metri di camminamenti pedonali esterni).

In base alle indicazioni del manuale, i carichi presunti sono:

- Carichi permanenti e pesi propri: 3.500 kg/m lineari di ponte.
- Pesi propri delle travature metalliche principali: 1.225 kg/m ÷ 1.400 kg/m lineari di ponte.
- Carico accidentale (carreggiata più folla compatta sui marciapiedi): 2.800 kg/m lineari di ponte.

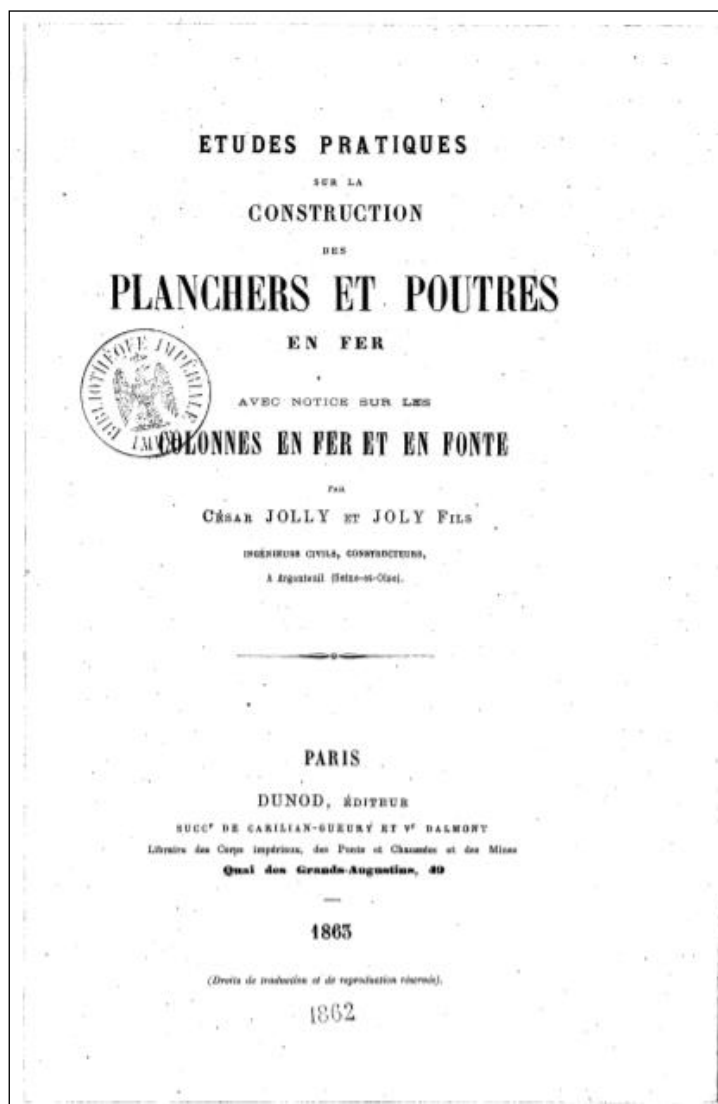
Seppur con il presente intervento l'impalcato verrà sostituito, questi numeri sono utili per capire i carichi con cui sono state progettate le strutture esistenti e valutare i margini di sicurezza rispetto al peso proprio tenendo conto del significativo grado di ammaloramento.

IN.SPE SRL INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 21
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026

Ulteriori informazioni circa le tensioni di esercizio considerate all'epoca di costruzione sono riportati in "Verifica della stabilità dei Solai in ferro e volte delle Infermerie. Lettura del Socio ing. G. G. FERRIA. FATTA LA SERA DEL 6 DICEMBRE 1899".

Conclusion. — Si sa che i ferri si fanno comunemente lavorare a chg. 8 e 10 per mm².

Per lo studio delle tecniche e dettagli costruttivi tipicamente utilizzati all'epoca di costruzione si è fatto riferimento alla pubblicazione "Etudes pratiques sur la construction. Planchers et poutres en fer" Paris Dunod Editeur. 1863, di cui si riportano i seguenti stralci.



IN.SPE SRL INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 22
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento	Relazione generale
	del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Rev. 1 – 07/2026

§ 2. — Dans les travaux des ponts et chaussées et des chemins de fer, aucune des parties composant une construction en fer ne doit être soumise, soit en traction, soit en compression, à un effort maximum de plus de 6 kilogr. par millimètre carré de section. Cette limite a surtout sa raison d'être lorsqu'elle s'applique à des ponts qui, indépendamment des variations de température, sont exposés à des vibrations considérables qui pourraient détériorer promptement les assemblages, si l'on faisait subir au fer un travail plus considérable. Ce coefficient de sécurité correspond donc à très-peu de chose près au sixième de la charge de rupture, puisque les fers qui composent les pièces d'un pont offrent ainsi que l'indique le § 4^e une résistance absolue de 3,500 kilogr. par centimètre carré. Il serait inexact d'appliquer à toutes les constructions un même coefficient, car ce coefficient doit résulter et de la qualité des fers employés et de l'appréciation sur la destination des constructions à faire. On peut donc dans certains cas l'augmenter, sans pour cela compromettre la sécurité.	Coefficients de sécurité applicables aux Planchers et Pontres.
--	---

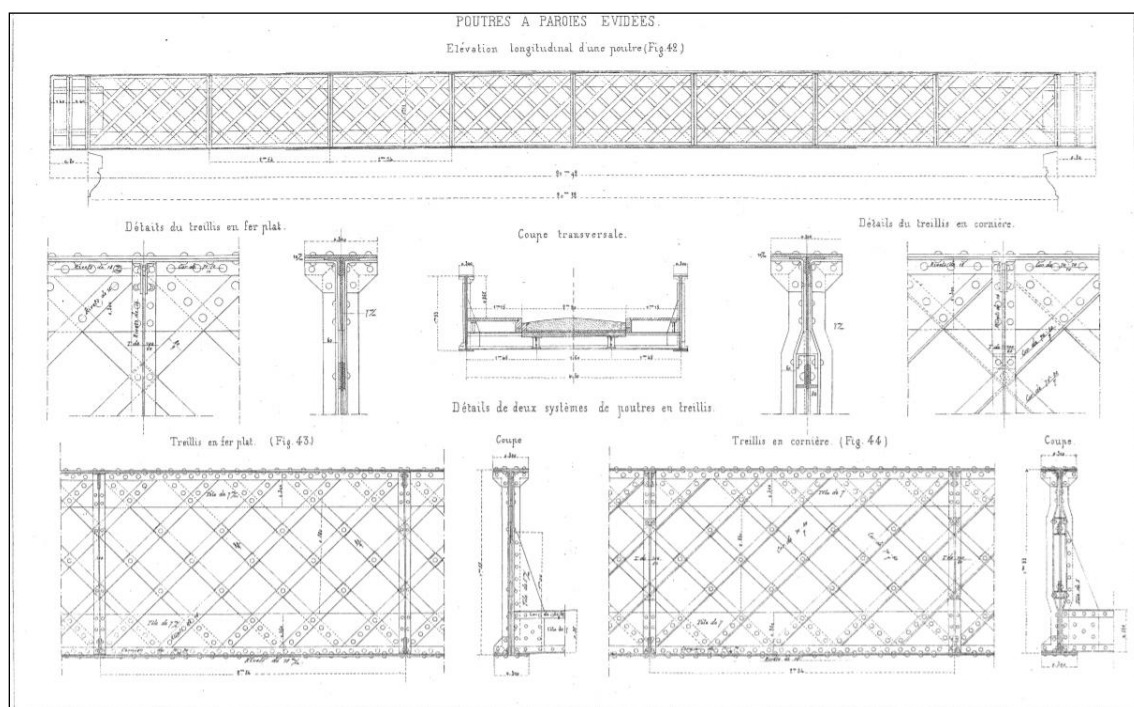
Il carico di rottura indicato, pari a 3.500 kg/cm² è allineato con i risultati delle prove di trazione eseguite in laboratorio effettuate nella campagna di indagini propedeutiche al presente progetto.

Secondo la pubblicazione i tassi di lavoro non sono prefissati da codici normativi, ma assunti dai vari Architetti secondo la pratica corrente, in funzione del tipo di elemento strutturale e della sua funzione.

Per ponti costituiti da profili composti chiodati il carico ammissibile usualmente adottato era di 60 N/mm², piuttosto cautelativo per tenere in conto di vari fattori, quali variazioni termiche, vibrazioni, fenomeni di fatica, e l'importanza dell'opera.

Per altre tipologie di costruzioni in acciaio era usuale far lavorare il materiale a 80 N/mm² – 100 N/mm².

Di seguito si riporta un altro estratto dal documento, esempio di ponte formato da profili metallici composti chiodati, a via di corsa inferiore.



IN.SPE SRL INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 23
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026

6.1.5 Note sul collaudo

Al termine dei lavori che hanno interessato il ponte nel 1987-1989, è stato effettuato il collaudo delle opere, da parte dell'Ing. Corielli, che ha condotto varie prove di carico, con configurazioni tali da verificare il comportamento delle pile, dell'impalcato stradale e dei camminamenti pedonali.

- Prova di carico sulla passerella a valle mediante serbatoi ad acqua.
- Prova di carico sulla campata centrale del ponte mediante autotreni che hanno coperto tutta la campata centrale.
- Prova di carico sulla pila mediante sette autotreni raggruppati il più possibile attorno all'asse della pila.
- Prova di carico sulla passerella a monte mediante serbatoi ad acqua.
- Il collaudatore, inoltre, ha eseguito il controllo sommario delle strutture in rapporto alla normativa vigente alla data di collaudo per ponti di prima categoria.

In merito al collaudo si può osservare che:

- Le prove di carico sulle passerelle e sulla pila hanno dato esito positivo.
- La prova di carico sulla campata centrale ha dato esito positivo ma con abbassamenti superiori a quelli teorici calcolati.
- Il ricalcolo delle strutture appare poco prudentiale, in quanto considera come tensione ammissibile nei profili il valore di 140 N/mm^2 , molto superiore a quanto previsto dai prodotti siderurgici tipici dell'epoca di costruzione. Inoltre, per gli elementi compressi, specialmente il corrente superiore, non sono tenuti in conto gli effetti di instabilità (metodo omega).

6.2 Rilievo geometrico

La prima fase investigativa del processo di conoscenza dell'organismo strutturale è il rilievo geometrico dell'opera.

Sono stati effettuati dei rilievi manuali delle dimensioni degli elementi strutturali principali (rilievo a campione delle strutture) ed un rilievo topografico di precisione con tecnica laser scanner.

Durante le fasi di rilievo geometrico-strutturale complessivo dell'opera sono state, inoltre, individuate le macro-criticità e le problematiche inerenti all'assetto strutturale e lo stato di conservazione dell'opera.

6.2.1 Rilievo con tecnica laser-scanner

Per creare un modello geometrico con la necessaria precisione nelle misure e l'indicazione dei profili che compongono le membrature metalliche è stato condotto un rilievo con tecnologia laser scanner supportato dal rilievo con stazione totale.

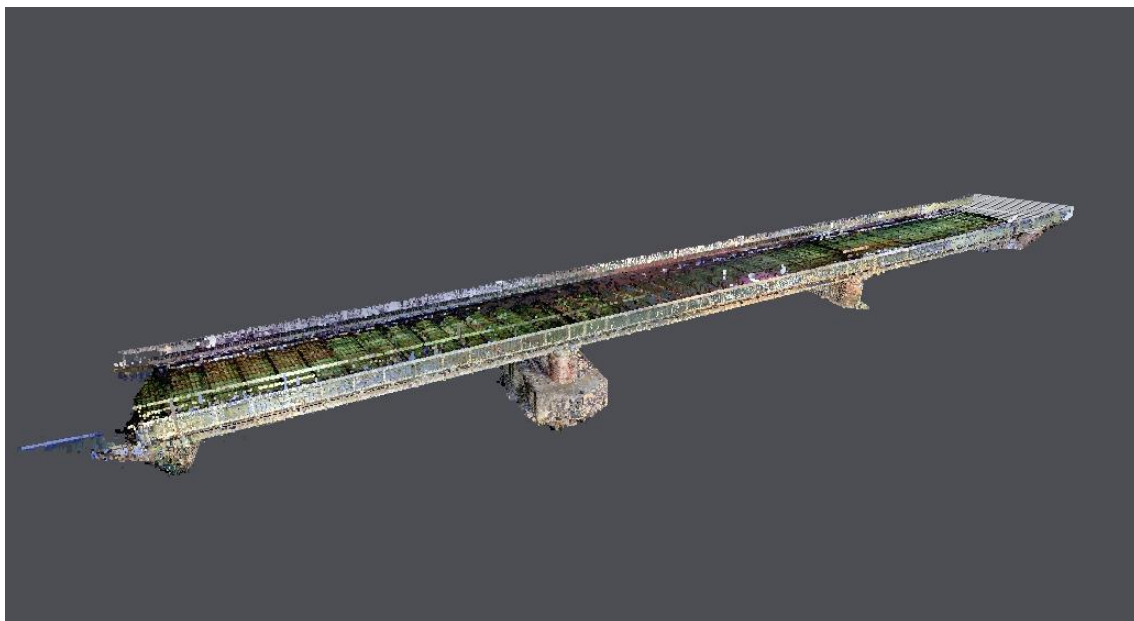


Figura 6-8: Immagine del rilievo 3D. Nuvola di punti



Figura 6-9: Immagine del rilievo 3D – Dettaglio della pila e dell'intradosso dell'impalcato. Nuvola di punti

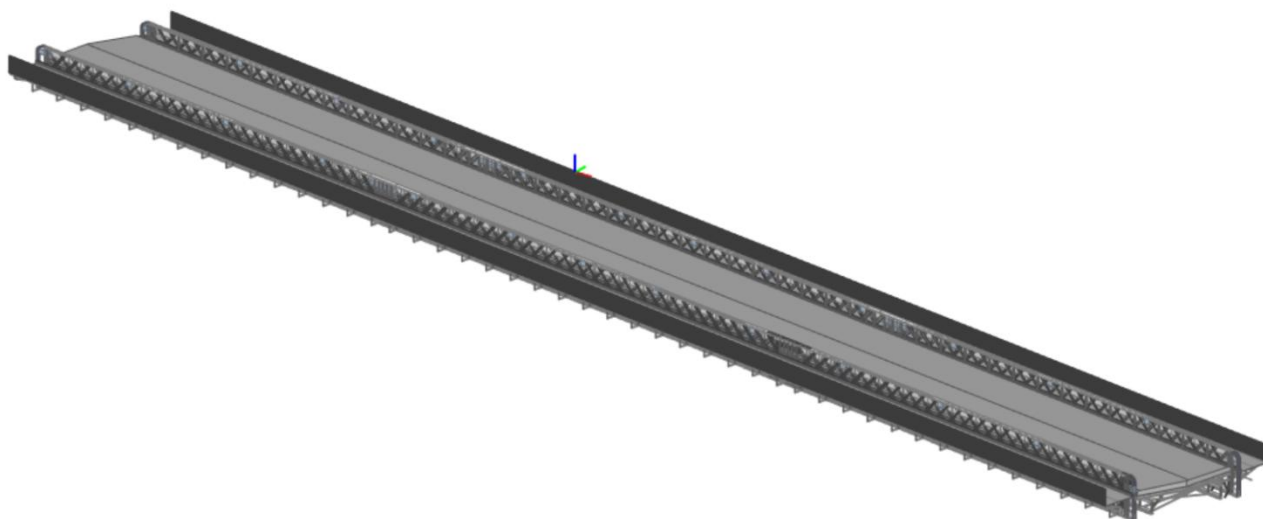


Figura 6-10: Vista prospettica dell'impalcato. Modello 3D esportato su apposito visualizzatore

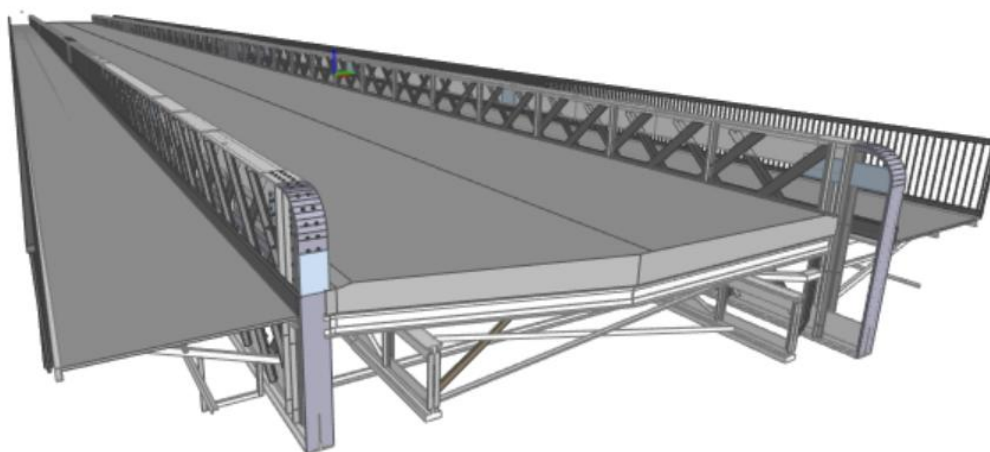


Figura 6-11: Vista prospettica dell'impalcato. Modello 3D esportato su apposito visualizzatore

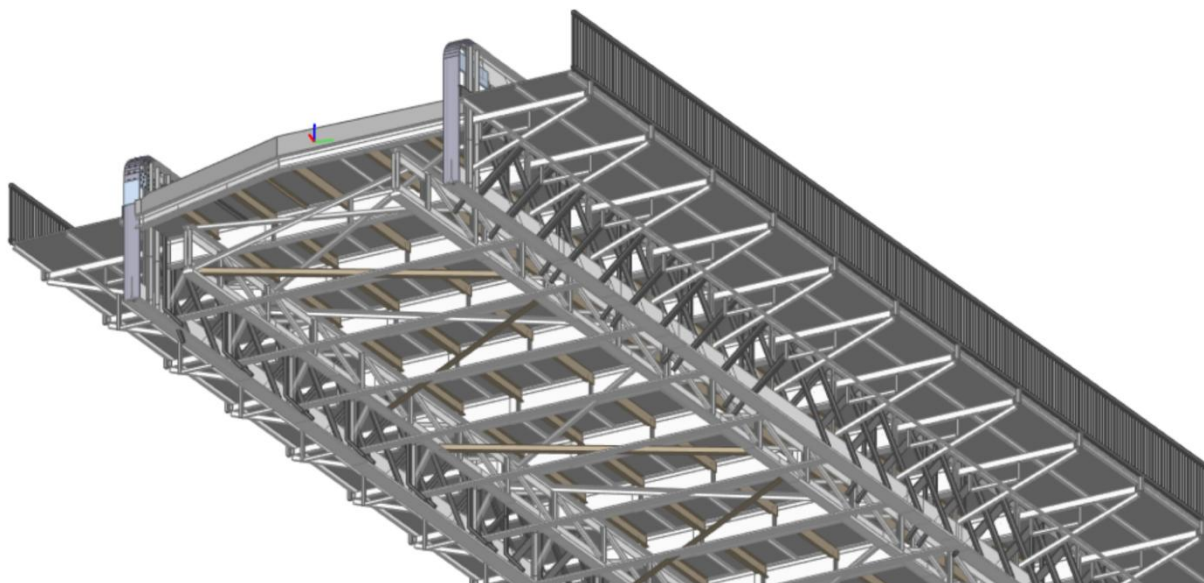


Figura 6-12: Vista dal basso di parte dell’impalcato. Modello 3D esportato su apposito visualizzatore

Per l'utilizzo ordinato ed efficace del rilievo laser scanner è stato realizzato un modello BIM architettonico del ponte.

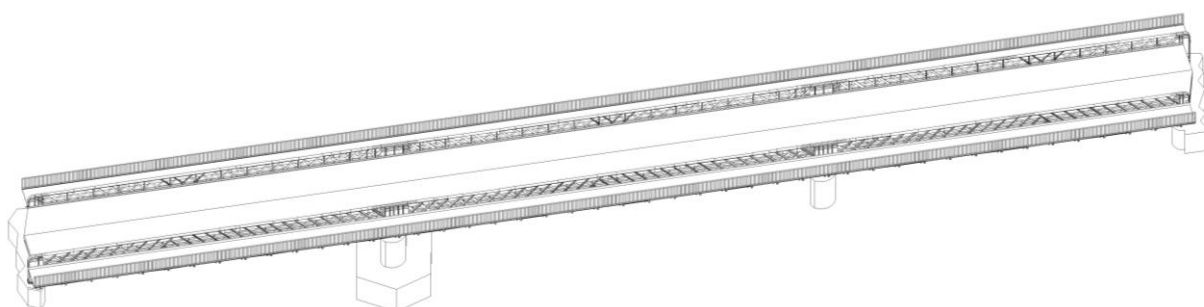


Figura 6-13: Immagine del rilievo 3D. Modello BIM architettonico

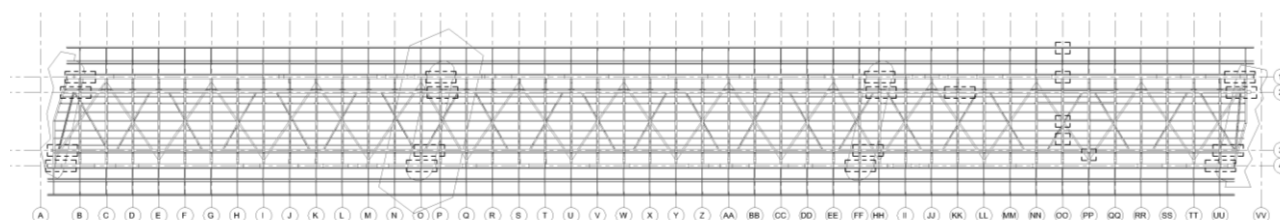


Figura 6-14: Immagine del rilievo 3D – Vista in pianta. Modello BIM architettonico

Per uno studio più approfondito dei dettagli costruttivi e delle connessioni, dal modello BIM 3D, sono state estrapolate le informazioni di dettaglio dei principali nodi della costruzione.

IN.SPE SRL INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 27
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento	Relazione generale
	del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Rev. 1 – 07/2026

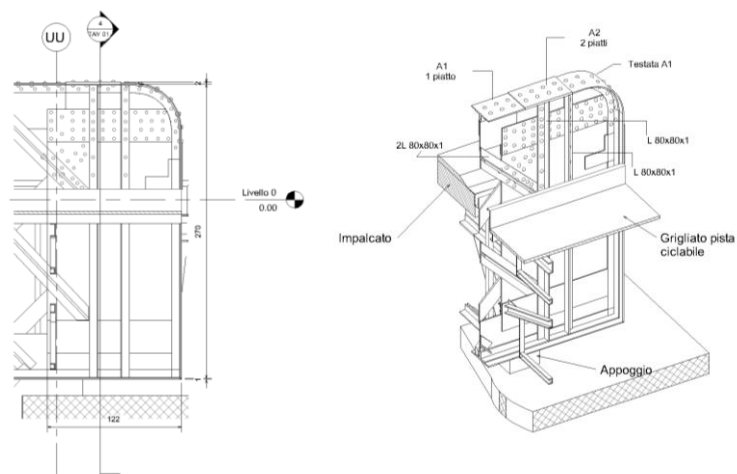


Figura 6-15: Immagine del rilievo 3D – esempio dei dettagli costruttivi. Modello BIM architettonico

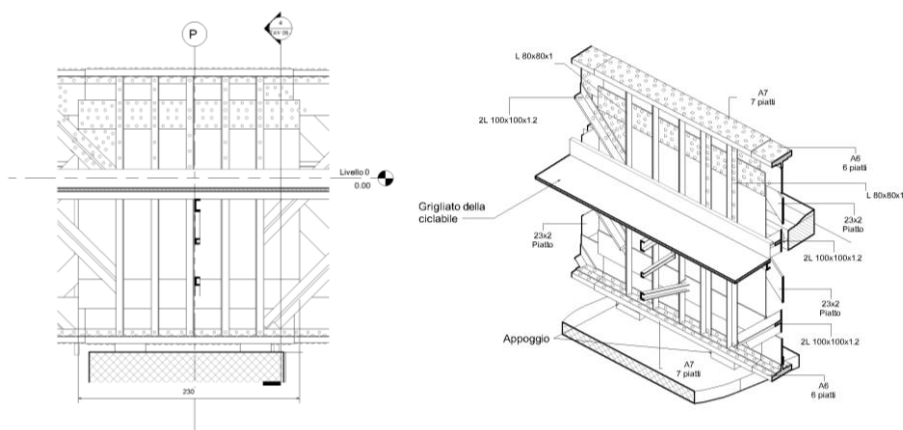


Figura 6-16: Immagine del rilievo 3D – esempio dei dettagli costruttivi. Modello BIM architettonico

6.2.2 Rilievo fotografico del degrado

Per una corretta e completa verifica dell'opera è stata condotta un'accurata ispezione visiva, che ha evidenziato rilevanti e diffusi stati di degrado, legati principalmente a fenomeni ossidativi e corrosivi degli elementi metallici.

I maggiori fenomeni corrosivi interessano principalmente i correnti inferiori delle travi reticolari (dove intere porzioni di metallo sono completamente assenti), gli apparecchi di appoggio, l'intradosso della lamiera grecata della soletta, i nodi dei collegamenti caratterizzati da ristagni d'acqua e/o umidità.



Figura 6-17: Immagine del rilievo 3D – esempio dei dettagli costruttivi. Modello BIM architettonico



Figura 6-18: Immagine del rilievo 3D – esempio dei dettagli costruttivi. Modello BIM architettonico

Sono, inoltre, state riscontrate mancanze di elementi di collegamento (chiodi), deformazioni anomale di aste metalliche e lamiere, assenza di profili metallici, che sono caduti nel fiume per via della corrosione delle saldature di attacco (puntoni inferiori).

Di seguito si riporta un report fotografico di sintesi dei degradi rilevati.



Figura 6-19: Immagine esemplificativa dello stato di conservazione delle travi reticolari

IN.SPE SRL INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 29
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026



Figura 6-20: Immagine esemplificativa dello stato di conservazione delle travi reticolari



Figura 6-21: Immagine esemplificativa dello stato di conservazione delle travi reticolari



Figura 6-22: Immagine esemplificativa dello stato di conservazione delle travi reticolari – corrosione avanzata.

IN.SPE SRL INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 30
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026



Figura 6-23: Immagine esemplificativa dello stato di conservazione delle travi reticolari – corrosione avanzata.



Figura 6-24: Mancanza degli elementi di collegamento



Figura 6-25: Mancanza degli elementi di collegamento

IN.SPE SRL INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 31
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026



Figura 6-26: Immagine dello stato dei correnti inferiori – corrosione avanzata con fori in corrispondenza dell'anima



Figura 6-27: Immagine dello stato dei correnti inferiori – corrosione avanzata con fori in corrispondenza dell'anima



Figura 6-28: Immagine dello stato dei correnti inferiori – corrosione avanzata con fori in corrispondenza dell'anima



Figura 6-29: Immagine dello stato dei correnti inferiori – corrosione avanzata con fori in corrispondenza dell'anima



Figura 6-30: Immagine dello stato dei correnti inferiori – corrosione avanzata con fori in corrispondenza della piattabanda



Figura 6-31: Immagine esemplificativa dello stato di conservazione delle travi reticolari – corrosione avanzata



Figura 6-32: Immagine esemplificativa dello stato di conservazione degli elementi trasversali



Figura 6-33: Immagine esemplificativa dello stato di conservazione degli elementi trasversali



Figura 6-34: Immagine esemplificativa dello stato di conservazione in corrispondenza degli appoggi

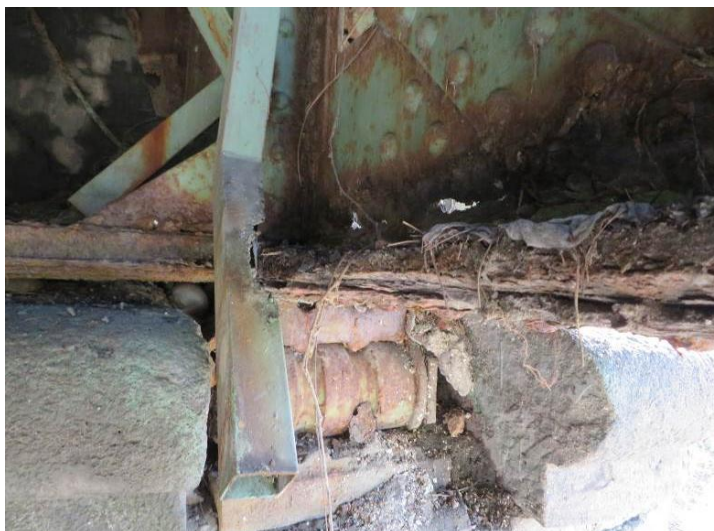


Figura 6-35: Immagine esemplificativa dello stato di conservazione in corrispondenza degli appoggi

6.2.3 Considerazioni sulle criticità della struttura

L'ispezione dell'opera ha evidenziato alcuni stati di degrado rilevanti, che di seguito vengono illustrati:

- Corrosione diffusa negli elementi metallici che compongono la parte superiore delle travi reticolari, sia per quanto riguarda i correnti che gli elementi diagonali.
- Avanzato stato di corrosione in corrispondenza dei correnti inferiori delle travi reticolari. In diversi punti l'anima della trave presenta fori di notevoli dimensioni con forte riduzione della sezione resistente. Anche le piattabande mostrano una diffusa corrosione e, a tratti una forte riduzione della sezione resistente a causa del materiale completamente mancante.
- In corrispondenza degli appoggi anche la porzione inferiore delle diagonali, chiodate all'anima dei correnti inferiori, risultano fortemente corrose.
- Mancanza di alcuni chiodi in alcuni nodi di collegamento tra i diversi elementi strutturali, in alcuni punti dell'impalcato. In alcuni casi è presente un avanzato stato di degrado (corrosione) delle teste dei chiodi, che probabilmente interessa anche i gambi.
- Diffusa corrosione in corrispondenza dell'intradosso della lamiera metallica che costituisce la soletta dell'impalcato, tanto maggiore nei punti di ristagno di umidità ed infiltrazioni.
- Avanzato stato di degrado per corrosione degli apparecchi di appoggio; nel caso di quelli mobili pare che non sia garantita la funzionalità di scorrimento.
- Corrosione diffusa in corrispondenza degli elementi trasversali che compongono gli irrigidimenti di impalcato.

6.3 Rilievi strutturali e indagini diagnostiche

La campagna di indagini diagnostiche si è basata su verifiche visive in situ, su prove distruttive e non distruttive, eseguite al fine da raggiungere il **Livello di Conoscenza LC2**.

- Data la tipologia strutturale in esame (ponte stradale metallico) sono state eseguite le seguenti tipologie di indagini:
- Rilievi visivi;
- Endoscopie di verifica della stratigrafia della soletta a campione;
- Indagini georadar per il controllo diffuso della stratigrafia della soletta;
- Carotaggi di profondità ed endoscopie delle pile e delle spalle;
- Carotaggi meccanici delle murature e prove di trazione indiretta sulle carote estratte;

IN.SPE _{SRL} INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 35
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026

- Prelievo di talloni metallici e prove di trazione in laboratorio;
- Indagini durometriche delle strutture metalliche.

I risultati delle indagini sono riportati nel seguente documento:

“Comune di Crema (CR) Ponte “Cadorna” via Luigi Cadorna Comune di Crema (CR) – Indagini Strutturali – MTS Engineering srl Marzo 20219”

a cui si rimanda per i dettagli.

IN.SPE SRL INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 36
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026

7 Descrizione degli interventi previsti

7.1 Rifacimento completo dell'impalcato

I fenomeni corrosivi delle strutture esistenti allo stato di fatto risultano molto estesi ed interessano diffusamente le travature reticolari principali; pertanto, l'intervento prevede la completa sostituzione dell'impalcato con una nuova struttura mista in acciaio calcestruzzo costituita dai seguenti elementi:

- n.4 travi metalliche di altezza complessiva pari a 1200 mm e disposte ad interasse 1.65 m
- traversi di campata reticolari a "X" a collegamento delle travi in profili a 2L 100x10
- traversi di testata reticolari a "X" a collegamento delle travi in profili a 2L 120x13
- soletta in c.a. spessore 25 cm collaborante con le travi in acciaio mediante pioli Nelson e completata lateralmente da cordoli di altezza pari a 16 cm oltre la soletta stessa, su cui sono fondate le barriere di classe H2
- n.2 passerelle pedonali metalliche laterali costituite da puntoni in profili 2UPN120, tiranti in HEA120 e struttura secondaria in HEA120 su cui poggia il grigliato di camminamento
- n.16 isolatori elastomerici, allo scopo di ridurre l'azione sismica di capacità mediante l'incremento del periodo proprio di vibrazione dell'impalcato
- in corrispondenza delle spalle è previsto l'inserimento di n.2 giunti di dilatazione
- a collegamento delle travi a coppie sono previsti controventi di costruzione a "X" in 2L80x8 con lo scopo di stabilizzare la piattabanda superiore in fase di montaggio
- l'impalcato è completato mediante uno strato di impermeabilizzazione ed il pacchetto di pavimentazione costituito da binder (5÷9 cm) e strato di usura (6 cm).

Al fine di conservare la configurazione originale, l'opera è completata con:

- il mantenimento delle travi metalliche esterne esistenti, a sola funzione estetica, stabilizzate fuori piano mediante collegamenti diffusi al nuovo impalcato secondo uno schema statico "a biella", al fine di garantire stabilità orizzontale ma permettere gli spostamenti verticali relativi tra le stesse ed il nuovo impalcato; le travi saranno inoltre oggetto di interventi locali ad incrementare la durabilità delle stesse, come descritto nelle pagine seguenti;

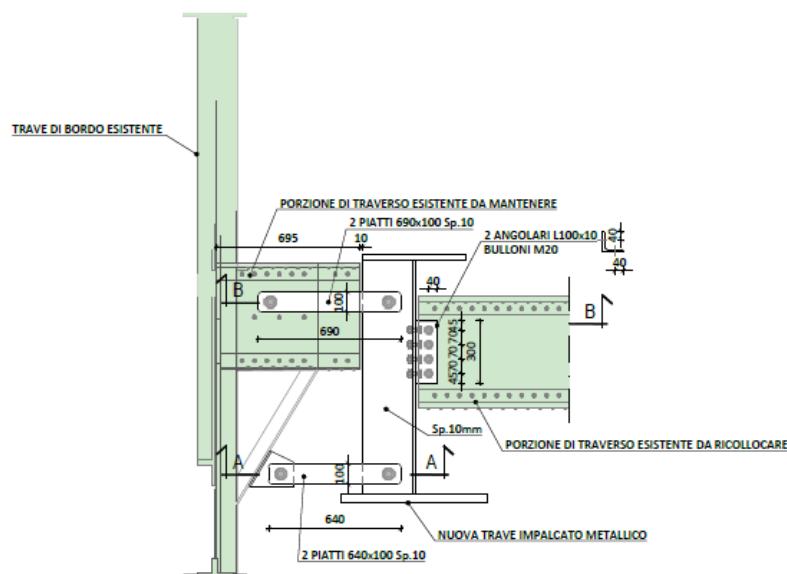


Figura 7-1: Bielle di collegamento trave esistente – nuovo impalcato

- la ricollocazione di parte dei traversi originali, alternati a quelli reticolari strutturali, allo scopo di mantenere l'effetto visivo originario della parte inferiore dell'opera

Di seguito si riporta la vista in pianta del nuovo impalcato, sopra e sotto la pavimentazione.

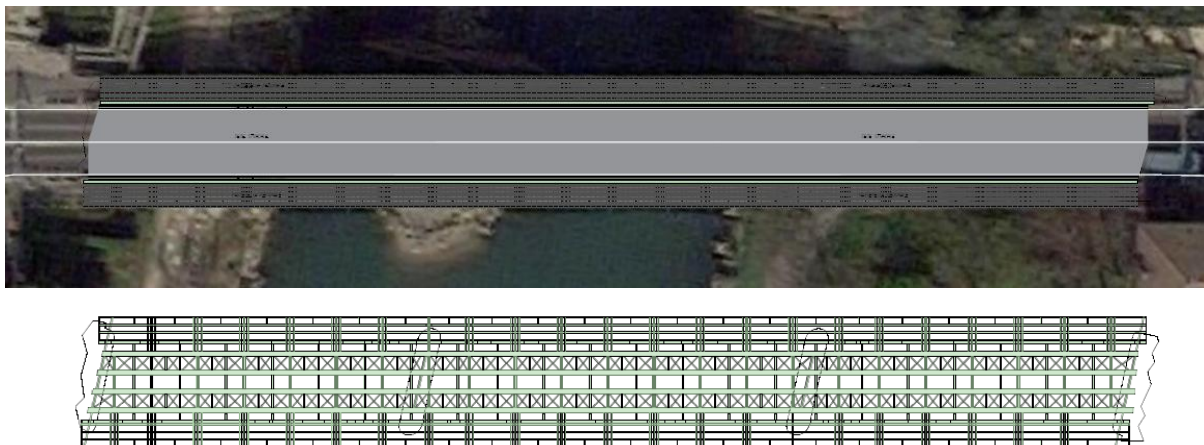
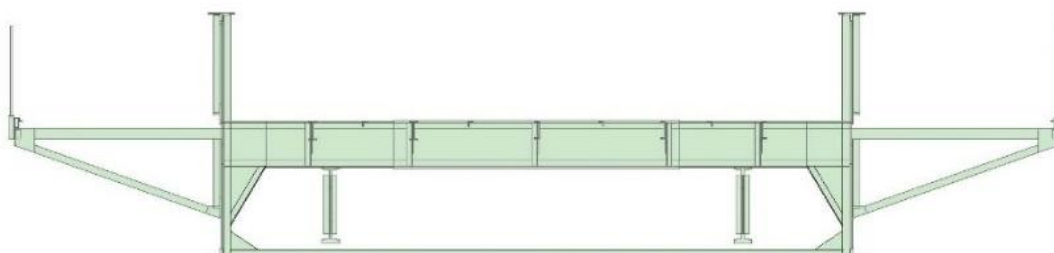


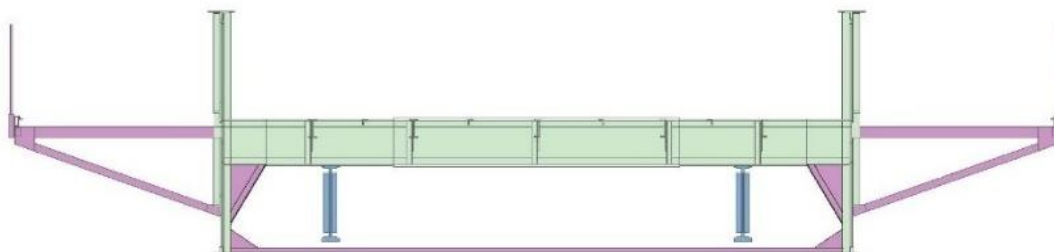
Figura 7-2: Vista in pianta del nuovo impalcato

Di seguito si riportano le sezioni dell'impalcato allo stato di fatto ed allo stato di progetto.

SEZIONE TRASVERSALE TIPOLOGICA – STATO DI FATTO

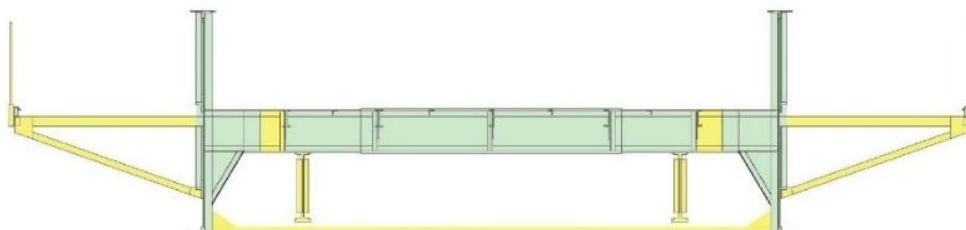


INDIVIDUAZIONE ELEMENTI AGGIUNTI IN ANNI SUCCESSIVI

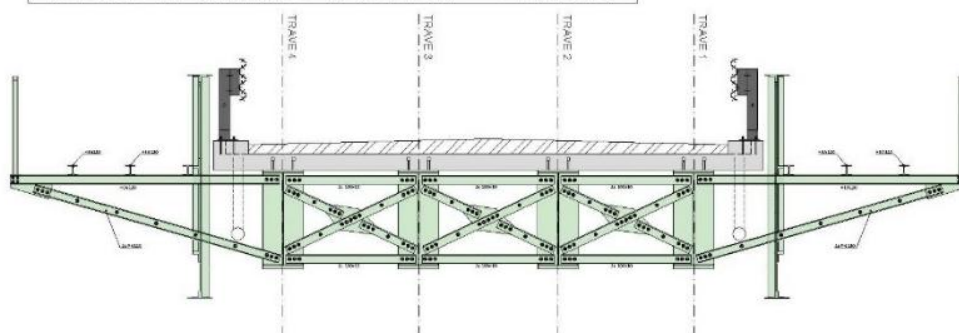


- Travi reticolari aggiunte nel 1967
- Passerella pedonale, posata nel 1986, in sostituzione a quella originaria

SEZIONE TRASVERSALE TIPOLOGICA – DEMOLIZIONI



SEZIONE TRASVERSALE TIPOLOGICA – PROGETTO



SEZIONE TRASVERSALE IN CORRISPONDENZA DEI TRAVERSI ESISTENTI – PROGETTO

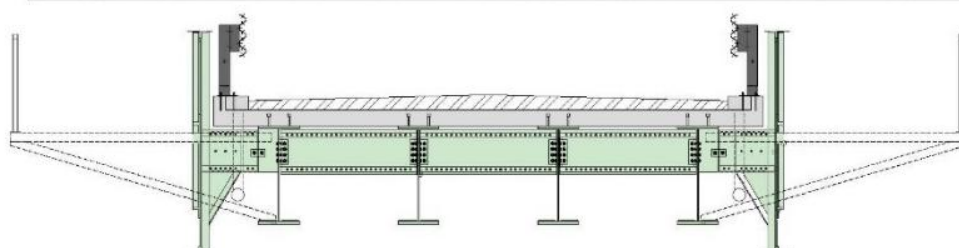


Figura 7-3: Sezione dell'impalcato allo Stato di Fatto ed allo Stato di Progetto

Durante le fasi di costruzione del nuovo impalcato, le travi esistenti saranno stabilizzate lateralmente mediante l'inserimento di una idonea struttura metallica laterali che, congiuntamente alla struttura delle passerelle esistenti, garantirà la stabilità delle travi stesse nei confronti dello svergolamento e ribaltamento laterale e delle forze esterne quali ad esempio il vento.

Per ogni lato, la struttura è costituita da una trave reticolare parallela all'esistente e composta dal corrente inferiore in HEA120, dal corrente superiore in HEA120 e da diagonali e traversi in 2L60x6/2L80x8, per un'altezza complessiva di 3 m circa; essa è collegata alla trave esistente mediante un sistema reticolare spaziale costituito dagli elementi della passerella esistente e da profili 2L60x6.

La struttura poggia a terra in corrispondenza delle spalle mediante colonne in HEB120 secondo uno schema "Vierendel" longitudinale e trasversale, mentre in corrispondenza delle pile poggia su colonne in HEA120 secondo uno schema "Vierendel" longitudinale e collegate trasversalmente alle pile mediante cerchiatura con barre DYWIDAG M32 e profili UPN200.

IN.SPE INGEGNERI SPECIALISTI SRL	Comune di Crema	Pag. 39
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento	Relazione generale
	del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Rev. 1 – 07/2026

In corrispondenza delle pile le colonne metalliche si fondano direttamente sul basamento in c.a. esistente, mentre in corrispondenza delle spalle le fondazioni sono di nuova realizzazione della tipologia a plinto in c.a. su micropali; il plinto ha pianta quadrata di lato 1.5 m ed altezza 0.80 m, i micropali, in numero pari a 4, sono realizzati mediante iniezione unica (IGU) per una lunghezza di 10 m e presentano un diametro di perforazione di 220 mm ed una camicia metallica in CHS 168.3 x 10 mm.

Di seguito si riportano delle immagini della struttura.

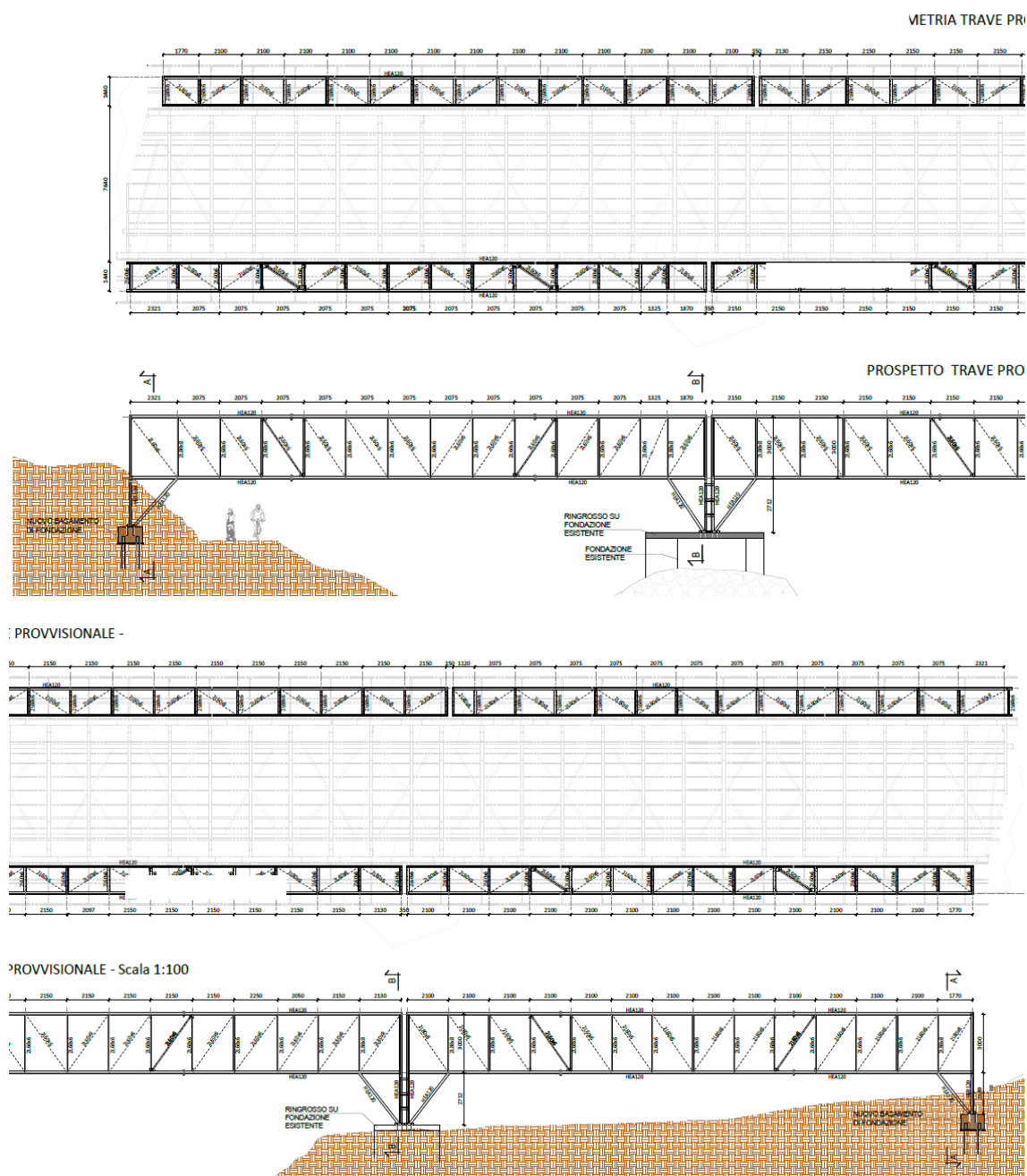


Figura 7-4: Strutture provvisorie – piante e prospetti

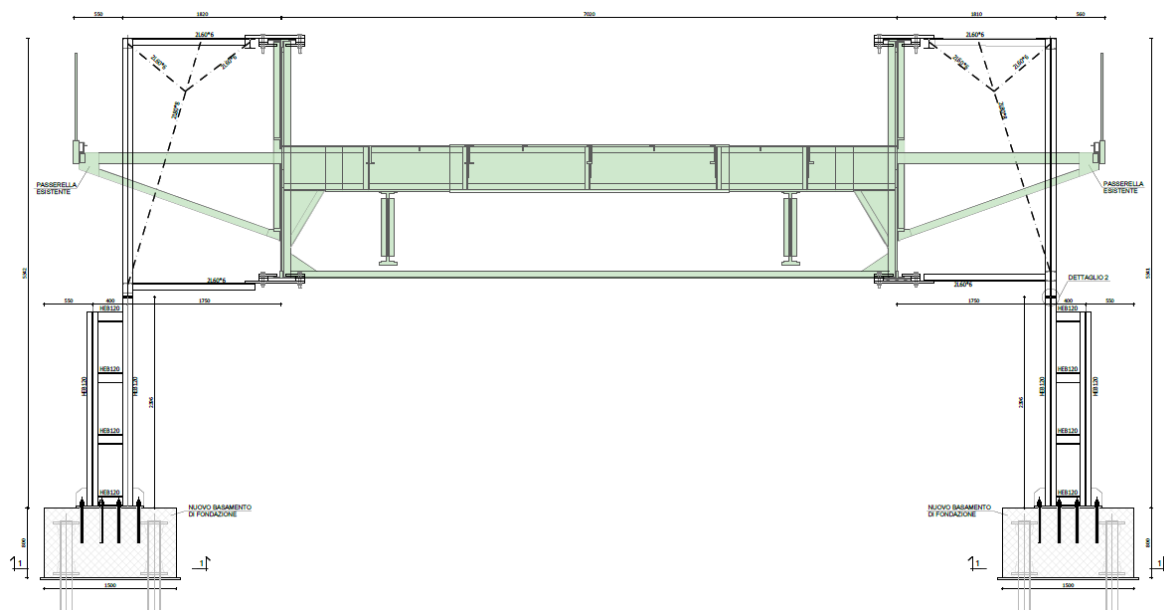


Figura 7-5: Strutture provvisionali – sezione in corrispondenza delle spalle

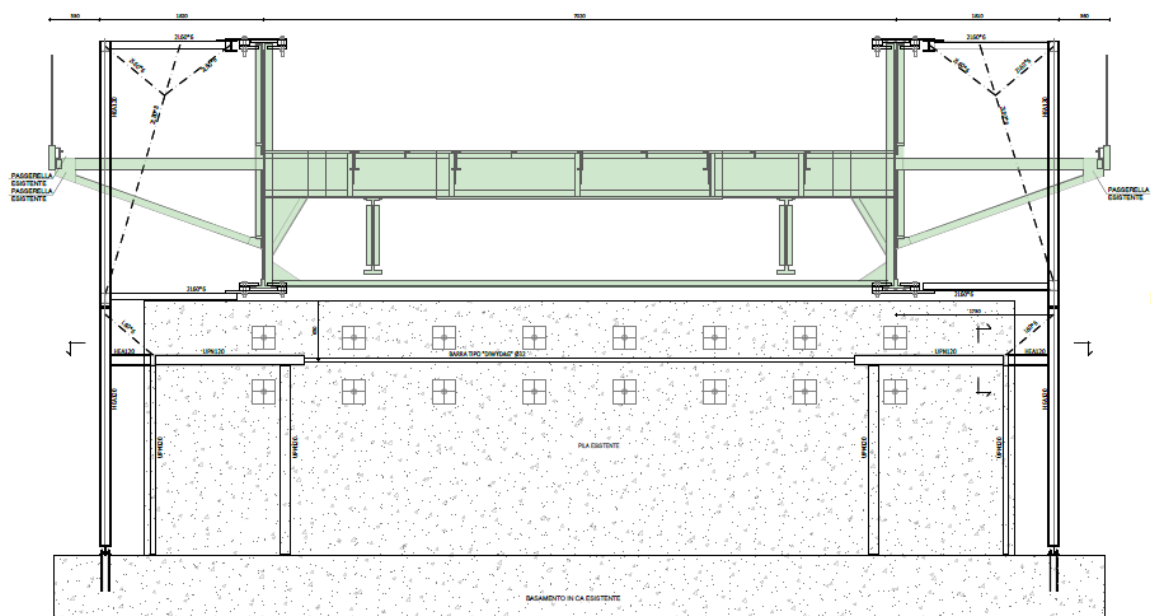


Figura 7-6: Strutture provvisionali – sezione in corrispondenza delle pile

Per il collegamento delle controventature orizzontali alle piattabande inferiore e superiore delle travi esistenti si prevede un sistema “a clampa”.

Ciò è stato previsto al fine di garantire la stabilità delle piattabande evitando lavorazioni di foratura e/o saldatura sulle opere esistenti al solo fine provvisorio, cercando pertanto di mantenere l'integrità delle stesse.

Di seguito si riportano dei dettagli illustrativi della soluzione.

DETTAGLIO 1 - CONNESSIONE TRAVE PROVVISORIA A TRAVE ESISTENTE

PIATTABANDA SUPERIORE

Figura 7-7: Strutture provvisorie – connessione “a clampa”

IN.SPE INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 42
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026

7.2 Consolidamento delle pile

L'intervento prevede il rinforzo della testata delle pile mediante la realizzazione di una soletta in c.a. di spessore pari a 38 cm, previo ripristino corticale mediante operazioni di cuci-scuci, collegata alla sottostante muratura mediante spinature, al fine di garantire l'inghisaggio degli isolatori sismici permettere una migliore diffusione degli sforzi sul piano murario.

Inoltre, si prevede il rinforzo ed il confinamento della parte sommitale dei fusti mediante l'inserimento per ogni pila di 8+8 barre DYWIDAG M36 passanti, iniettate con resina al fine di garantirne la durabilità e vincolate mediante contro-piastre metalliche.

Per il fusto nel suo complesso si prevede invece un consolidamento mediante iniezioni con boiacca tipo "SIKA-MUR-222" o equivalente, al fine di sanare il quadro fessurativo esistente.

Di seguito si riportano delle immagini illustrative dell'intervento.

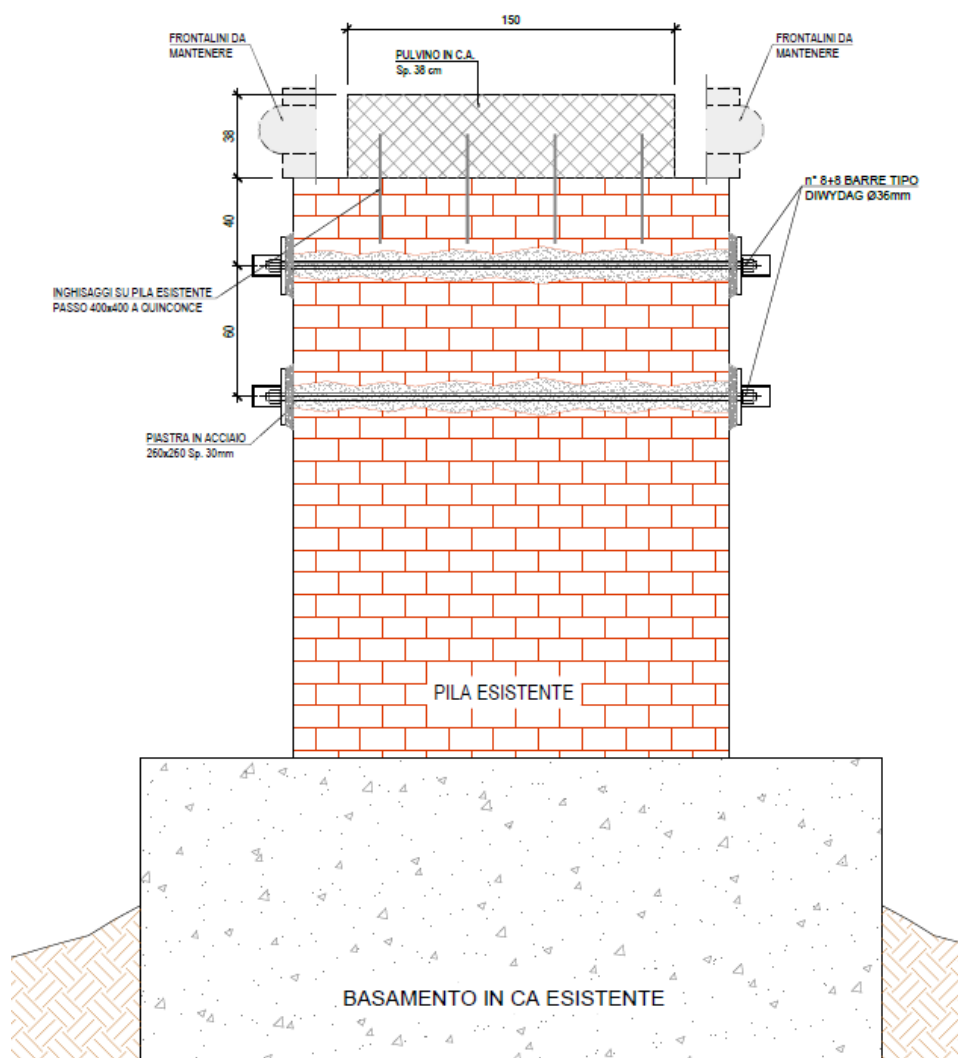


Figura 7-8: Interventi sulle pile

IN.SPE SRL INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 43
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento	Relazione generale
	del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Rev. 1 – 07/2026

7.3 Consolidamento delle spalle

L'intervento prevede il rinforzo del fusto delle pile mediante la realizzazione di un contro-muro frontale in c.a., di spessore variabile da 30 cm a 50 cm, collegato alla parete muraria mediante spinature diffuse e caratterizzato da un sistema a cavalletto costituito da 5 coppie micropali per ogni spalla; i micropali sono realizzati mediante iniezione unica (IGU) per una lunghezza di 13 m e presentano un diametro di perforazione di 220 mm ed una camicia metallica in CHS 139.7 x 10 mm.

In testa si prevede inoltre la realizzazione di una soletta in c.a. di spessore pari a 30 cm con relativi baggioli, collegata alla sottostante muratura mediante spinature, al fine di garantire l'inghisaggio degli isolatori sismici e rinforzare il retrostante paraghiaia.

Per il fusto nel suo complesso si prevede invece un consolidamento mediante iniezioni con boiacca tipo "SIKA-MUR-222" o equivalente, al fine di sanare il quadro fessurativo esistente.

Di seguito si riportano delle immagini illustrative dell'intervento.





IN.SPE SRL INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 45
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento	Relazione generale
	del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Rev. 1 – 07/2026

7.4 Consolidamento delle travi esistenti

Seppur le travi esistenti siano state declassate a mera funzione estetica, stante i fenomeni corrosivi avanzati e diffusi, si prevedono degli interventi locali di consolidamento degli elementi costituenti le stesse.

Di seguito si riportano delle immagini rappresentative degli interventi.

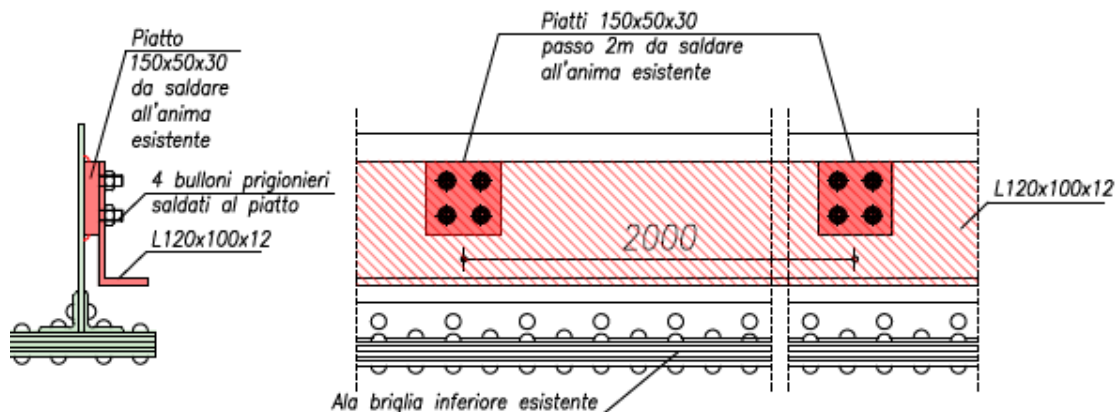


Figura 7-10: Intervento sulla briglia inferiore: rinforzo mediante angolare corrente

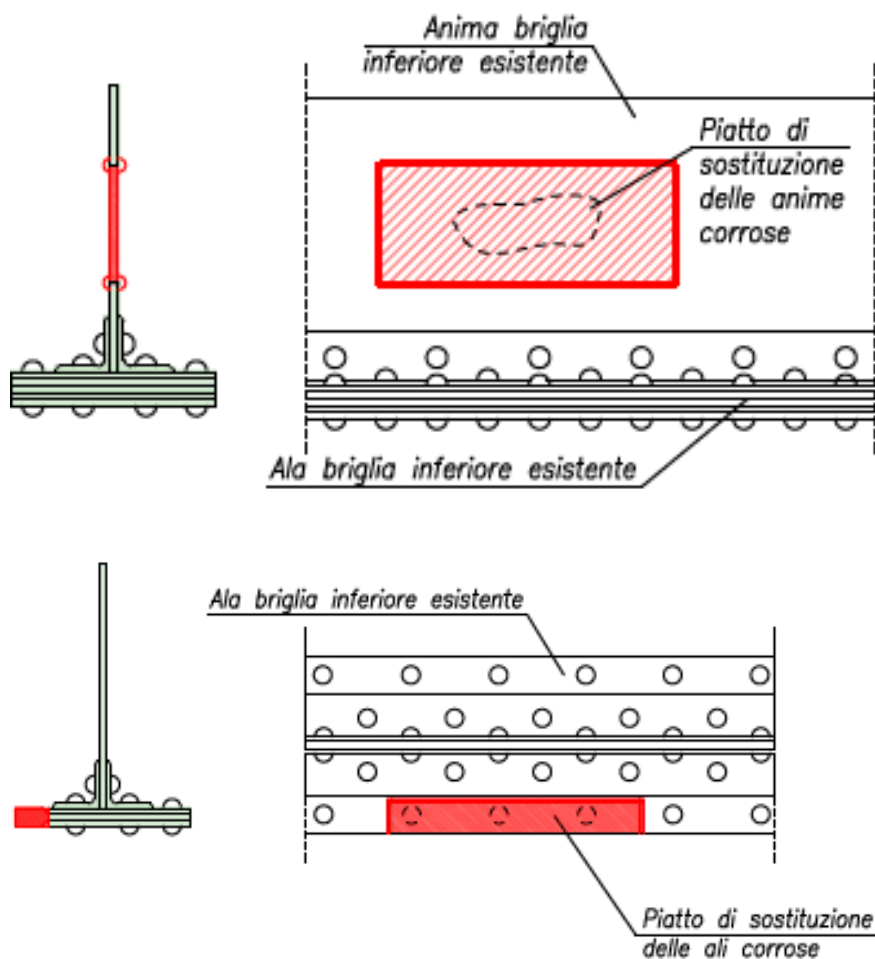


Figura 7-11: Intervento sulla briglia inferiore: rinforzo mediante piatti integrativi in corrispondenza delle porzioni ammalorate

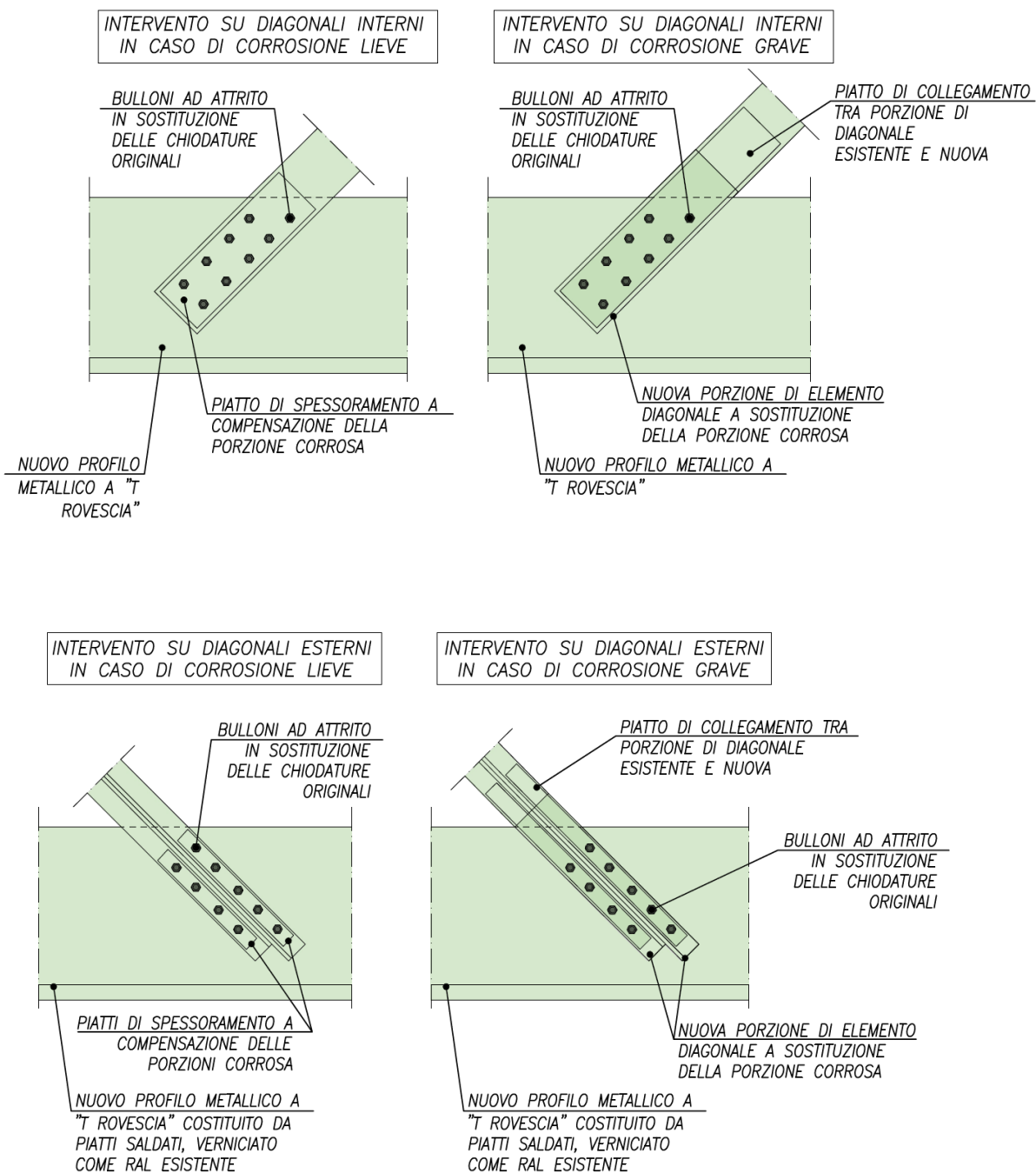


Figura 7-12: Intervento sui diagonali: rinforzo mediante piatti integrativi in corrispondenza delle porzioni ammalorate

7.5 Interventi protettivi delle travi esistenti e dei traversi ricollocati

Gli interventi sulla carpenteria metallica previsti per le travi esistenti ed i traversi da ricollocare riguarderanno la rimozione dei prodotti di corrosione formati negli anni, a cui seguiranno dei cicli di pitturazione.

In accordo a ISO 12944 rev.2018 si prevedono:

- Categoria corrosiva atmosferica: C5
- Durabilità del ciclo di verniciatura: VH
- Spessore ciclo: 320 µm
- Numero di cicli: 3

Durability		Low (l)			Medium (m)			High (h)			Very high (vh)		
Type of primer		Zn (R)	Misc.		Zn (R)	Misc.		Zn (R)	Misc.		Zn (R)	Misc.	
Binder base of primer		ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY
Binder base of subsequent coats		EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY	EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY	EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY	EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY
C2	MNOC	a			—	—	1	1	1	1	2	2	2
	NDFT				—	—	100	60	120	160	160	180	200
C3	MNOC	—	—	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
	NDFT	—	—	100	60	120	160	160	180	200	200	240	260
C4	MNOC	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	—
	NDFT	60	120	160	160	180	200	200	240	260	260	300	—
C5	MNOC	2	2	—	2	2	—	3	2	—	3	3	—
	NDFT	160	180	—	200	240	—	260	300	—	320	360	—

Di seguito si riportano le fasi di verniciatura:

- Creazione di box e strutture costituite da teli impermeabili doppio strato per il contenimento delle polveri prodotte dalle operazioni di sabbiatura, che consentano l'aspirazione ed il recupero della sabbia.
- Trattamento di sabbiatura SA 2 1/2 con graniglia metallica per una perfetta pulizia delle superfici con rimozione dello strato di vernice esistente, ruggine ed impurità presenti.
- Trattamento di verniciatura con applicazione di primer epossidico bi-componente come mano di fondo per fornire sufficiente aggrappo alle successive mani di pitturazione (primer zincante).
- Trattamento di verniciatura con applicazione di primer intermedio epossidico bi-componente come mano di fondo intermedio per base a successive mani di pitturazione, che assicurano una buona resistenza agli agenti atmosferici UV e anticorrosive.
- Trattamento di verniciatura con applicazione di vernici acriliche poliuretaniche tipo smalto a finitura (lucida, opaca o brillante) essicante all'aria con buona resistenza ed elasticità.

La scelta del colore viene eseguita in accordo con la tabella RAL che si avvicina il più possibile al colore esistente, previa valutazione su campioni per la resa finale, secondo le indicazioni della Soprintendenza.

Di seguito si riportano delle immagini relative al prospetto finale dell'opera.

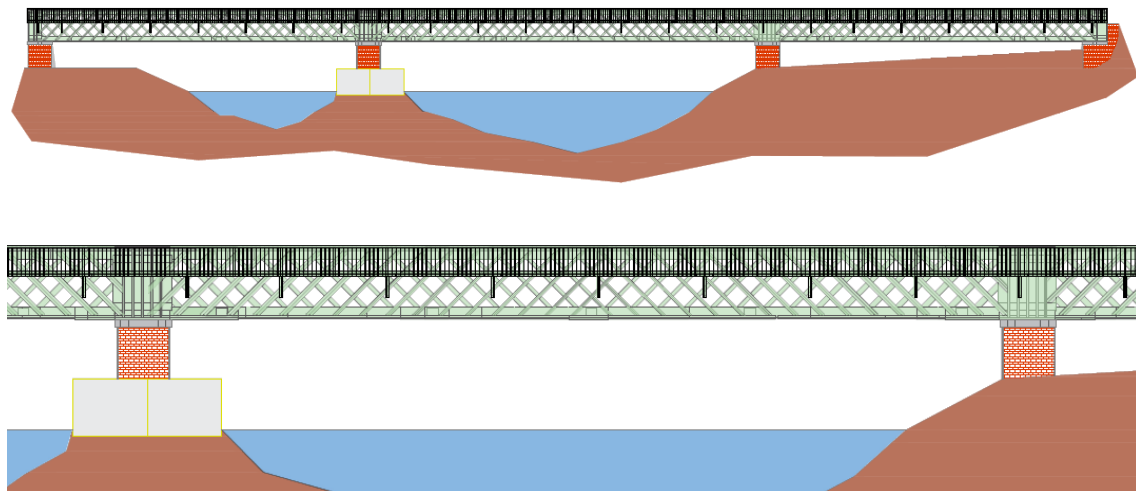


Figura 7-13: Vista prospettica finale del ponte

7.6 Rifacimento del sistema di smaltimento delle acque di piattaforma

Al fine di garantire un corretto smaltimento delle acque di piattaforma ed evitare che le stesse possano generare fenomeni corrosivi sugli elementi dell'impalcato e delle sotto-strutture si prevede la realizzazione di caditoie a scendere dall'impalcato, collegate orizzontalmente mediante una tubazione che poi in corrispondenza delle pile e delle spalle convoglia l'acqua alla base; in corrispondenza dei giunti di spalla, si prevede inoltre la realizzazione di una canaletta collegata alle restanti tubazioni.

7.7 Platea di varo

Al fine di permettere le operazioni demolizione e di varo è prevista la realizzazione di una platea, come di seguito illustrato.

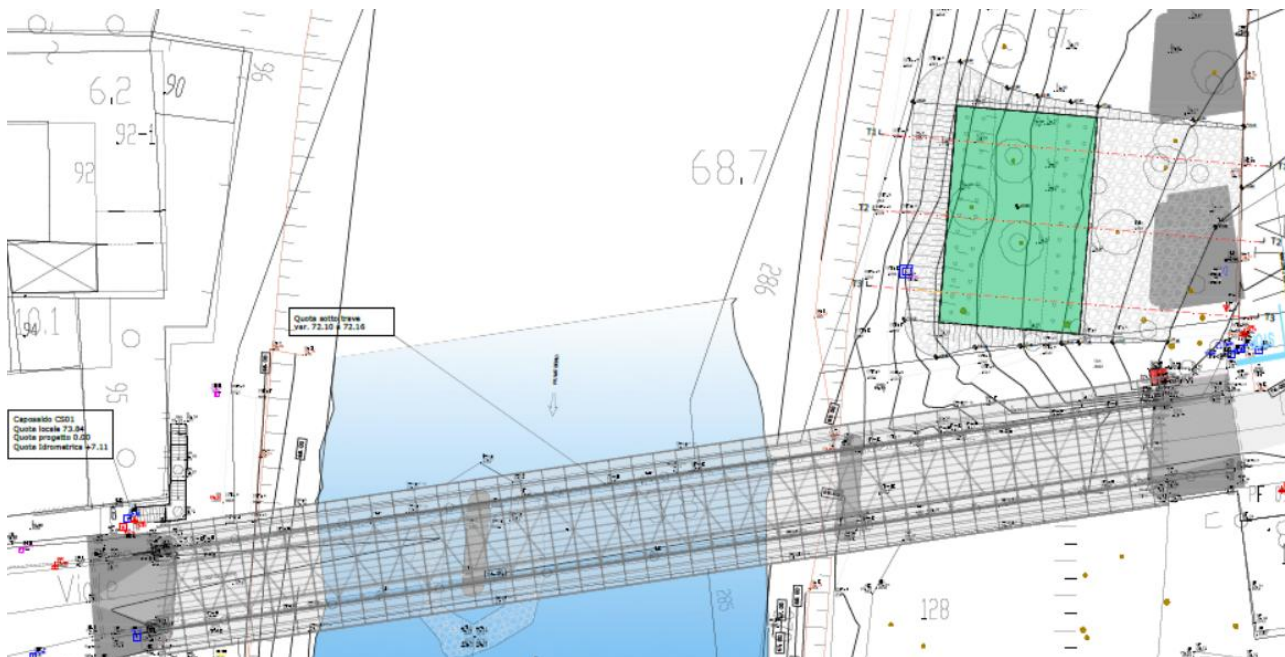


Figura 7-14: Ubicazione platea di varo

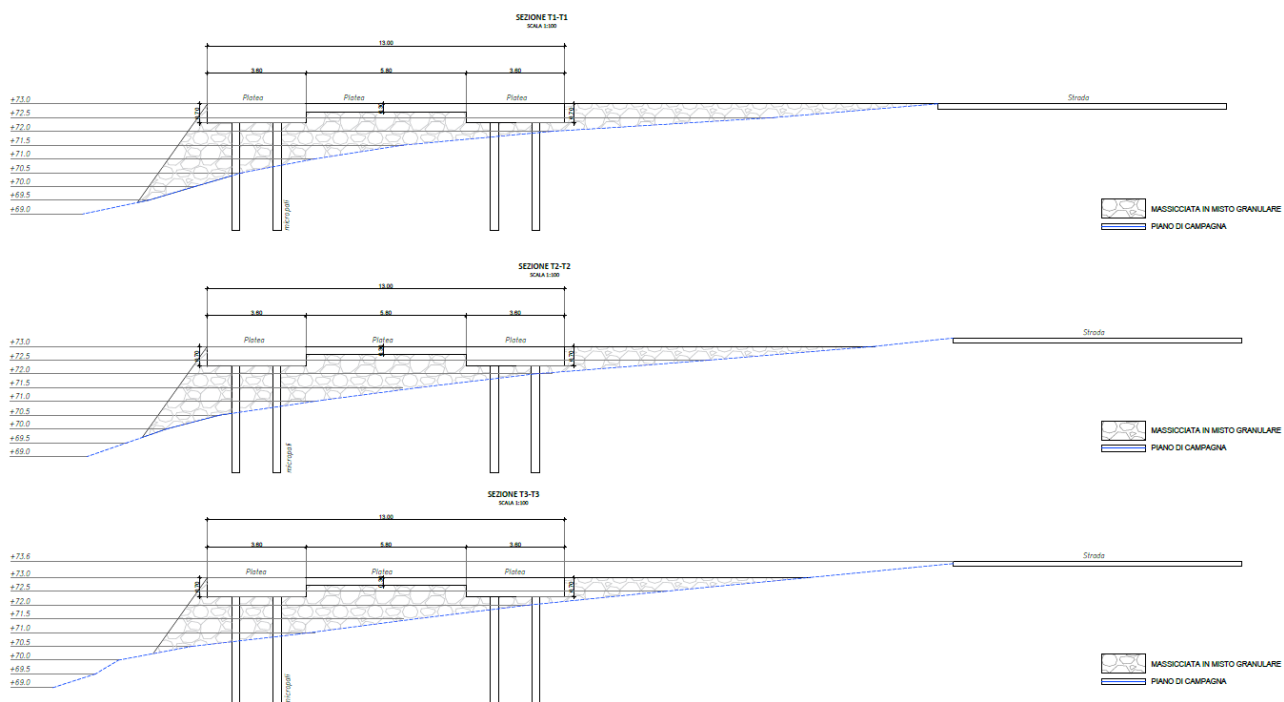


Figura 7-15: Sezioni platea di varo

La platea presenta una pianta rettangolare di dimensioni pari a circa 13 m x 20 m ed è composta da una struttura in c.a. gettata in opera di spessore massimo pari a 70 cm e minimo pari a 30 cm; la stessa nella porzione da 70 cm è fondata su n.52 micropali disposti secondo una maglia 1.5 m x 1.5 m e presentano le seguenti caratteristiche:

- Diametro di perforazione 250 mm
- Tubolare CHS 193.70 sp. 10 mm S355
- Lunghezza perforazione 22 m
- Lunghezza tubolare 22.5 m
- Iniezione IRS per 15 m

8 Piano delle demolizioni

Di seguito si riportano le fasi previste per le demolizioni della porzione centrale dell'impalcato.



Figura 8-1: Taglio e rimozione profili orizzontali e diagonali collegati alle travi da mantenere



Figura 8-2: Taglio e rimozione prima porzione di impalcato

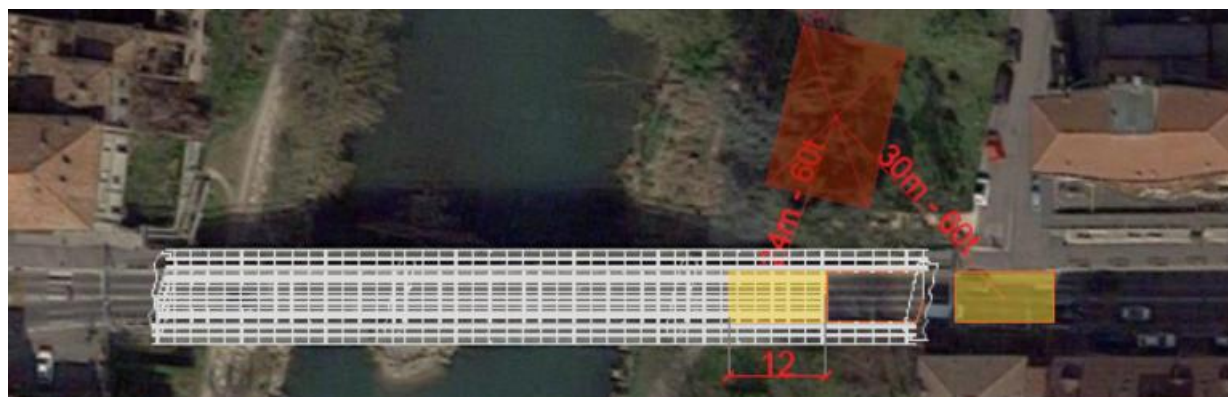


Figura 8-3: Taglio e rimozione seconda porzione di impalcato

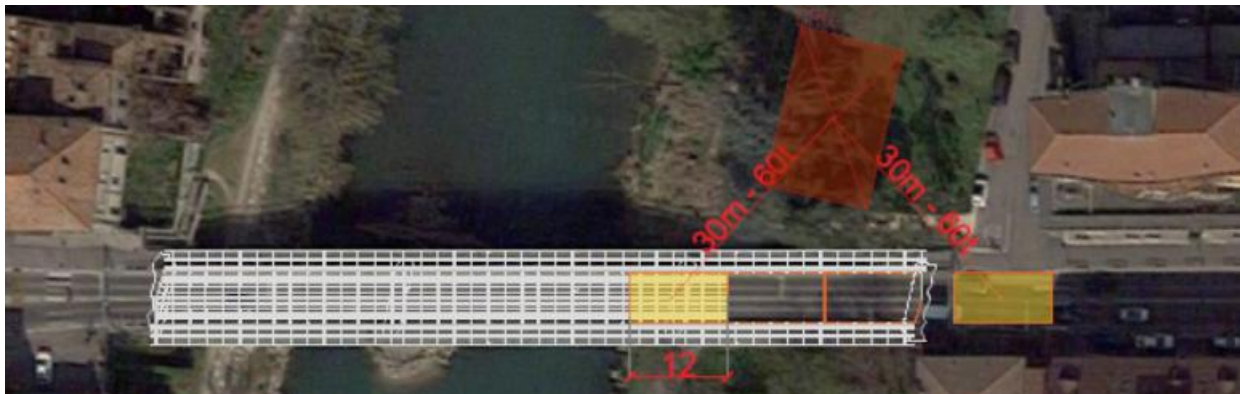


Figura 8-4: Taglio e rimozione terza porzione di impalcato

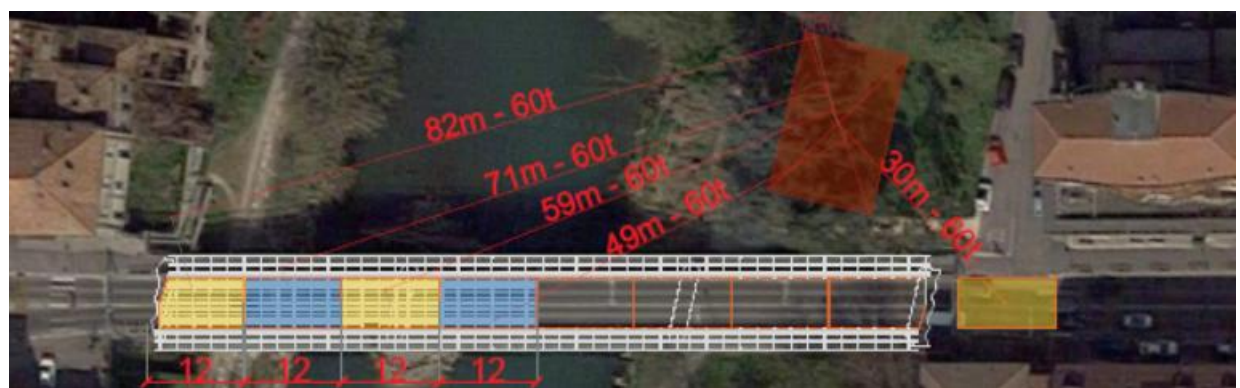


Figura 8-5: Taglio e rimozione porzioni successive di impalcato

IN.SPE SRL INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 52
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026

9 Piano di varo

Di seguito si riportano le fasi previste per le demolizioni della porzione centrale dell'impalcato.



Figura 9-1: Configurazione iniziale – stato di fatto



Figura 9-2: Realizzazione piattaforma ed installazione gru

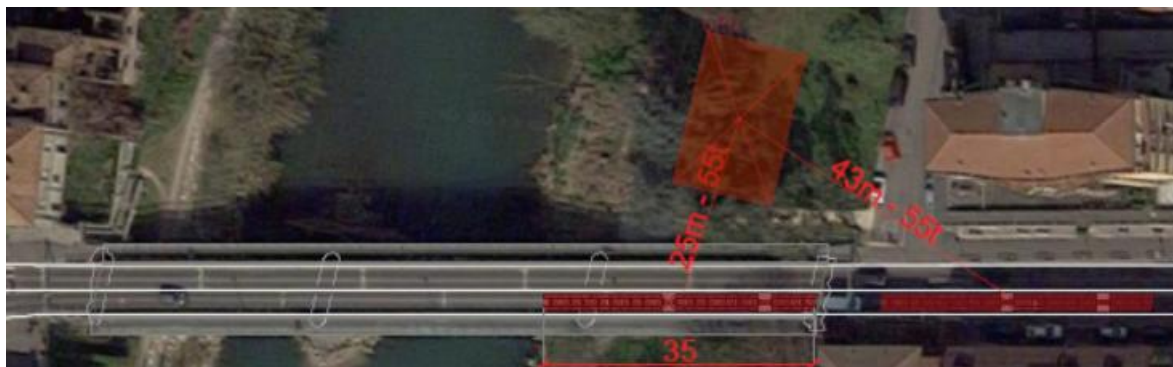


Figura 9-3: Varo campata lato San Bernardino – bitrave 1

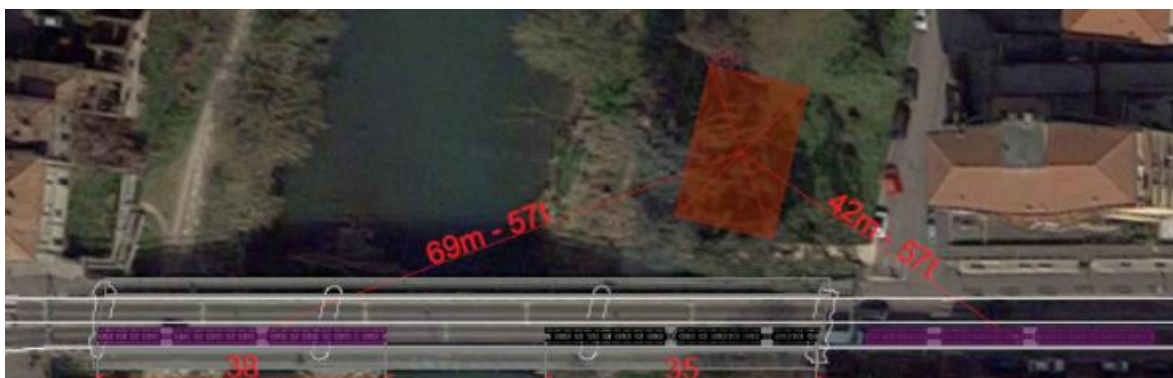


Figura 9-4: Varo campata lato centro sotrico – bitrave 1

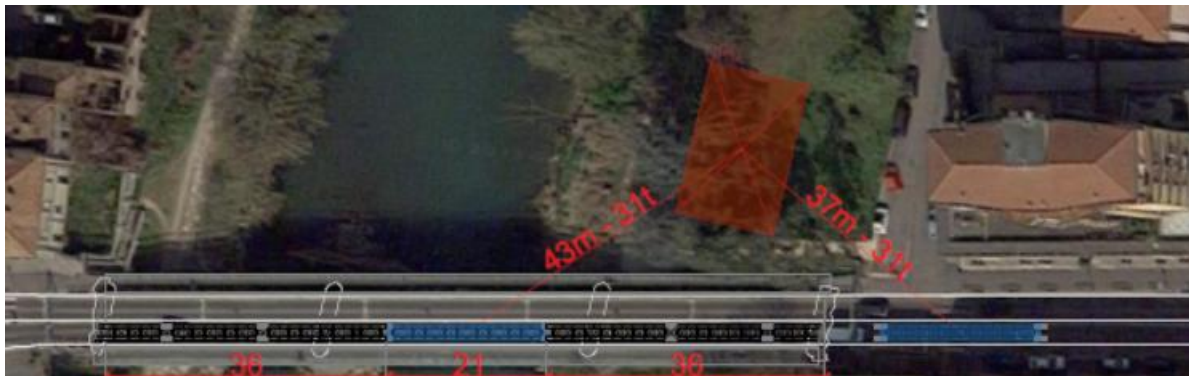


Figura 9-5: Varo campata centrale – bitraverse 1



Figura 9-6: Varo campata lato San Berdardino – bitraverse 2

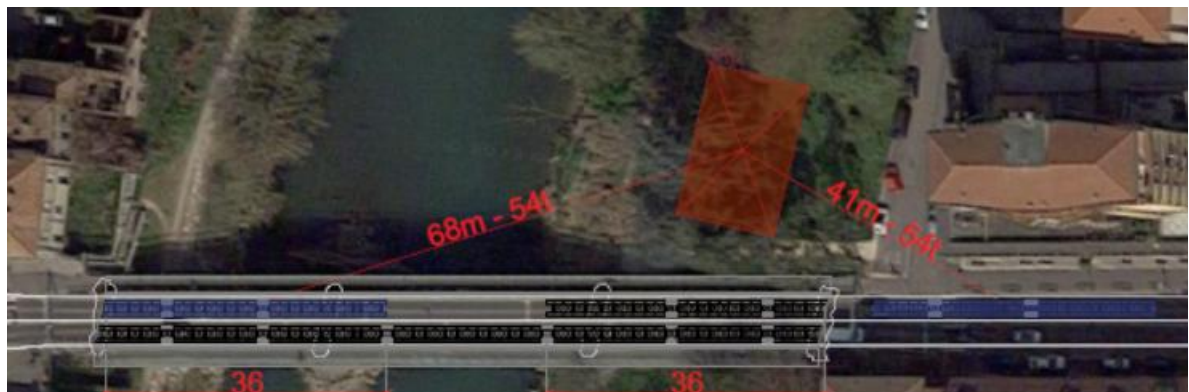


Figura 9-7: Varo campata lato centro storico – bitraverse 2

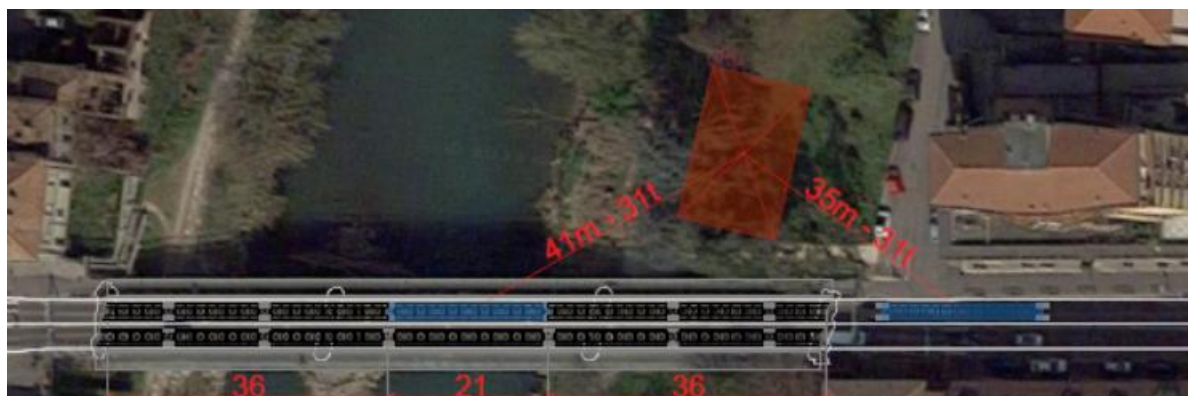


Figura 9-8: Varo campata centrale – bitraverse 2

IN.SPE _{SRL} INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 54
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026

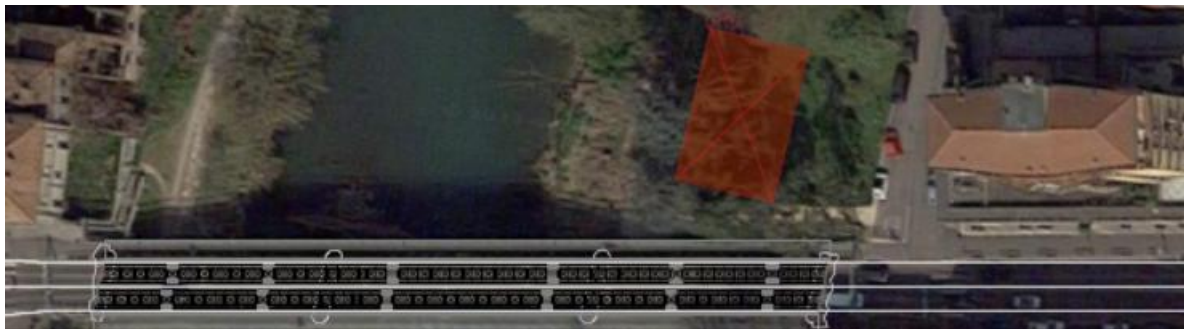


Figura 9-9: Configurazione finale di varo

10 Caratterizzazione meccanica dei materiali esistenti

10.1 Acciaio per carpenteria originale

Le caratteristiche meccaniche dell'acciaio impiegato per la carpenteria delle strutture in esame sono desunte da quanto rilevato in situ in accordo con quanto riportato dai manuali tecnici dell'epoca di costruzione.

Sigla	Geometria	Larg/Diam	Spessore	Sez. Effettiva	Allungam. A rottura	Strizione a rottura	f _y	f _t
		[mm]	[mm]	[mmq]	[%]	[%]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
C1	Prismatica	15.09	7.02	105.93	31.17	-	365	472
C2	Prismatica	15.2	8.26	125.55	10.92	-	262	378
C3	Prismatica	15.08	12.83	193.48	35.38	-	264	334
C4	Prismatica	15.08	10.59	159.7	30.86	-	257	373
C5/A (parte sana)	Prismatica	20.08	7.94	159.44	12.43	-	266	356
C5/B (parte ammalorata)	Prismatica	20.07	3.14	63.02	12.44	-	173	177

Nella tabella sono evidenziati i risultati delle prove di laboratorio riferiti ai campioni prelevati dalle strutture originali del ponte.

Tali valori sono in linea con quanto illustrato nei paragrafi precedenti riguardanti l'analisi critica della documentazione storica. Si assumono, pertanto, i seguenti valori base di resistenza:

$$f_y = 250 \text{ MPa}$$

$$f_t = 350 \text{ MPa}$$

10.2 Acciaio per carpenteria interventi integrativi

Le caratteristiche meccaniche dell'acciaio impiegato per la carpenteria delle strutture in esame sono desunte da quanto rilevato in situ in accordo con quanto riportato nella relazione tecnica di progetto: Fe 42 B.

10.3 Muratura

Le indagini conoscitive effettuate sul manufatto hanno evidenziato la presenza di pile e spalle costituite da mattoni pieni e malta di calce.



Figura 10-1: Ripresa fotografica dell'indagine endoscopica eseguita sulla pila

Le caratteristiche meccaniche dei materiali ed eventuali coefficienti correttivi sono desunti dalle tabelle C8.5.I e C.8.5.II della Circolare 2019, riportata in seguito.

Tabella C8.5.I - Valori di riferimento dei parametri meccanici della muratura, da usarsi nei criteri di resistenza di seguito specificati (comportamento a tempi brevi), e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura. I valori si riferiscono a: f = resistenza media a compressione, τ_0 = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3), f_{v0} = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3), E = valore medio del modulo di elasticità normale, G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale, w = peso specifico medio.

Tipologia di muratura	f (N/mm ²)	τ_0 (N/mm ²)	f_{v0} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	w (kN/m ³)
	min-max	min-max		min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,0-2,0	0,018-0,032	-	690-1050	230-350	19
Muratura a conci sbazzati, con paramenti di spessore disomogeneo (*)	2,0	0,035-0,051	-	1020-1440	340-480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2,6-3,8	0,056-0,074	-	1500-1980	500-660	21
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,4-2,2	0,028-0,042	-	900-1260	300-420	13 + 16(**)
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.) (**)	2,0-3,2	0,04-0,08	0,10-0,19	1200-1620	400-500	
Muratura a blocchi lapidei squadriati	5,8-8,2	0,09-0,12	0,18-0,28	2400-3300	800-1100	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce (***)	2,6-4,3	0,05-0,13	0,13-0,27	1200-1800	400-600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	5,0-8,0	0,08-0,17	0,20-0,36	3500-5600	875-1400	15

(*) Nella muratura a conci sbazzati i valori di resistenza tabellati si possono incrementare se si riscontra la sistematica presenza di zeppe profonde in pietra che migliorano i contatti e aumentano l'ammorsamento tra gli elementi lapidei; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente pari a 1,2.

(**) Data la varietà litologica della pietra tenera, il peso specifico è molto variabile ma può essere facilmente stimato con prove dirette. Nel caso di muratura a conci regolari di pietra tenera, in presenza di una caratterizzazione diretta della resistenza a compressione degli elementi costituenti, la resistenza a compressione può essere valutata attraverso le indicazioni del § 11.10 delle NTC.

(***) Nella muratura a mattoni pieni è opportuno ridurre i valori tabellati nel caso di giunti con spessore superiore a 13 mm; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente riduttivo pari a 0,7 per le resistenze e 0,8 per i moduli elastici.

Si considera il valore medio tra 2.6 MPa e 4.3 MPa come da prescrizioni della Circolare, che risulta 3.45 MPa.

Il fattore di confidenza è pari a $FC=1.2$, mentre il fattore parziale di sicurezza pari a 3.0; risulta quindi:

$$f_{d,SdF} = 3.45 / (FC=1.20) / (\gamma=3) = 0.96 \text{ N/mm}^2$$

Tabella C8.5.II - Coefficienti correttivi massimi da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato; ristilatura armata con connessione dei paramenti.

Tipologia di muratura	Stato di fatto			Interventi di consolidamento			
	Malta buona	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Iniezione di miscele leganti (*)	Intonaco armato (**)	Ristilatura armata con connessione dei paramenti (***)	Massimo coefficiente complessivo
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	1,3	1,5	2	2,5	1,6	3,5
Muratura a conci sbazzati, con paramenti di spessore disomogeneo	1,4	1,2	1,5	1,7	2,0	1,5	3,0
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	1,1	1,3	1,5	1,5	1,4	2,4
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,2	1,3	1,4	1,7	1,1	2,0
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,6	-	1,2	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura a blocchi lapidei squadriati	1,2	-	1,2	1,2	1,2	-	1,4
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	(***)	-	1,3 (****)	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	1,2	-	-	-	1,3	-	1,3

(*) I coefficienti correttivi relativi alle iniezioni di miscele leganti devono essere commisurati all'effettivo beneficio apportato alla muratura, riscontrabile con verifiche sia nella fase di esecuzione (iniettabilità) sia a posteriori (riscontri sperimentali attraverso prove soniche o similari).

(**) Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

(***) Nel caso di muratura di mattoni si intende come "malta buona" una malta con resistenza media a compressione f_m superiore a 2 N/mm². In tal caso il coefficiente correttivo può essere posto pari a $f_m^{0.50}$ (f_m in N/mm²).

(****) Nel caso di muratura di mattoni si intende come muratura trasversalmente connessa quella apparecchiata a regola d'arte.

Per le spalle e le pile si effettua rinforzo mediante iniezione di miscele leganti, per cui si applica il coefficiente maggiorativo pari a 1.20.

Pertanto, la resistenza allo stato di progetto risulta:

$$f_{d,SdP} = 1.20 \times f_{d,SdF} = 1.15 \text{ N/mm}^2$$

Per le verifiche locali, nel caso di carichi concentrati, si considera inoltre il coefficiente amplificativo β con valore pari a 1.5.

La resistenza di progetto risulta quindi

$$f_{d,SdP,loc} = 1.50 \times f_{d,SdP} = 1.728 \text{ N/mm}^2$$

IN.SPE _{SRL} INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 57
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026

10.4 Calcestruzzo

I basamenti delle pile del ponte sono costituiti da calcestruzzo, e sono stati realizzati nel 1988 per il rinforzo delle pile stesse, soggette a fenomeni di scalzamento così come descritto nei paragrafi precedenti.

L'intervento è stato regolarmente collaudato nell'ambito dei lavori di ripristino del ponte.

È comunque stato eseguito un carotaggio meccanico sul dado in cls., che ha confermato i valori di resistenza previsti dai calcestruzzi in uso all'epoca (Rck300).

IN.SPE SRL INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 58
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026

11 Caratterizzazione meccanica dei materiali di progetto

Di seguito si riportano i materiali strutturali previsti per il presente progetto.

11.1 Acciaio nuove strutture impalcato centrale (travi e traversi) S355J0W

$$f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

$$f_{tk} = 510 \text{ MPa}$$

$$E_s = 206'000 \text{ MPa}$$

Classe di esecuzione EXC3

11.2 Acciaio nuove strutture passerelle S355J0

$$f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

$$f_{tk} = 510 \text{ MPa}$$

$$E_s = 206'000 \text{ MPa}$$

Classe di esecuzione EXC3

11.3 Acciaio nuove strutture staffe porta impianti S355J0

$$f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

$$f_{tk} = 510 \text{ MPa}$$

$$E_s = 206'000 \text{ MPa}$$

Classe di esecuzione EXC3

11.4 Acciaio per pioli Nelson S235J2G3+C450 (UNI EN ISO 13918)

$$f_{yk} = 350 \text{ MPa}$$

$$f_{tk} = 450 \text{ MPa}$$

11.5 Acciaio nuove strutture provvisionali S355JR

$$f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

$$f_{tk} = 510 \text{ MPa}$$

$$E_s = 206'000 \text{ MPa}$$

Classe di esecuzione EXC2

11.6 Calcestruzzo per soletta C35/45

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

$$R_{ck} = 45 \text{ MPa}$$

$$E_c = 34'625 \text{ MPa}$$

Classe di esposizione XC4-XF4

11.7 Calcestruzzo per rinforzo spalle- elevazioni C35/45

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

	Comune di Crema	Pag. 59
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026

$R_{ck} = 45 \text{ MPa}$

$E_c = 34'625 \text{ MPa}$

Classe di esposizione XC4-XF4

11.8 Calcestruzzo per rinforzo spalle- fondazione C25/30

$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$

$R_{ck} = 30 \text{ MPa}$

$E_c = 31'475 \text{ MPa}$

Classe di esposizione XC2

11.9 Calcestruzzo per rinforzo pile C32/40

$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$

$R_{ck} = 45 \text{ MPa}$

$E_c = 34'625 \text{ MPa}$

Classe di esposizione XC4-XF4

11.10 Acciaio per micropali S355JR

$f_{yk} = 355 \text{ MPa}$

$f_{tk} = 510 \text{ MPa}$

$E_s = 206'000 \text{ MPa}$

11.11 Boiacca per micropali C25/30

$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$

$R_{ck} = 30 \text{ MPa}$

INIEZIONI IGU per:

- Micropali di rinforzo delle spalle
- Micropali di fondazione delle strutture provvisionali

INIEZIONI IRS per:

- micropali platea di varo (valvolati con 2 valvole /m)

Caratteristiche secondo UNI EN 447:2007

11.12 Acciaio per bulloni impalcato CL.10.9 ad attrito

Riferimento: UNI EN 14399

Resistenza bulloni:

$f_{yk} = 1000 \text{ MPa}$

$f_{tk} = 900 \text{ MPa}$

Assieme vite/dado/rondelle: sistema HRC con serraggio calibrato meccanicamente (UNI EN 14399-10); fattore “k” certificato in base ai requisiti richiesti per la classe funzionale k2.

- VITI: classe 10.9
- DADI: classe 10
- ROSETTE / PIASTRINE: durezza > 300 HV
- Il coefficiente d’attrito tra le piastre è pari a $\mu=0.3$.

Di seguito si riportano i valori della forza di precarico e della coppia di serraggio:

Bullone			Precarico	Coppia di serraggio
Classe	Diametro	Area	$F_{p,c}$	M
	[mm]	[mm ²]	[kN]	[Nm]
10.9	16	157	109.9	351.7
10.9	20	245	171.5	686.0
10.9	24	353	247.1	1186.1
10.9	27	459	321.3	1735.0
10.9	30	561	392.7	2356.2

11.13 Acciaio per bulloni e barre filettate in generale CL.8.8 a taglio

Riferimento: UNI EN 15048

Resistenza bulloni:

$$f_{yk} = 800 \text{ MPa}$$

$$f_{tk} = 640 \text{ MPa}$$

Assieme vite/dado/rondelle:

- VITI: classe 8.8
- DADI: classe 8
- ROSETTE / PIASTRINE: durezza > 100 HV

11.14 Barre DYWIDAG 950/1050

$$f_{yk} = 950 \text{ MPa}$$

$$f_{tk} = 1050 \text{ MPa}$$

11.15 Resina per inghisaggio di barre a strutture in c.a.

HILTI HIT RE 500 V4 o equivalente

11.16 Resina per inghisaggio di barre alla muratura

HILTI HIT HY270 o equivalente

11.17 Resina per iniezioni nella muratura

SikaMur – 222 IT o equivalente

IN.SPE _{SRL} INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 61
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026

11.18 Sintesi trattamenti superficiali elementi in acciaio

Elemento	Acciaio	Trattamento superficiale
Impalcato centrale (travi e traversi)	S355 J0W (CORTEN)	-
Passerelle	S355J0	Zincatura a caldo + Verniciatura in officina ai fini estetici
Staffe	S355J0	Zincatura a caldo + Verniciatura in officina ai fini estetici
Travi provvisionali	S355JR	Zincatura a caldo
Travi esistenti	Originario	Verniciatura protettiva in opera (C5-VH)
Traversi esistenti	Originario	Verniciatura protettiva in opera (C5-VH)

12 Calcolo del copriferro delle strutture definitive in c.a.

Ai fini di preservare le armature dai fenomeni di aggressione ambientale, è stato previsto un idoneo copriferro; il suo valore, misurato tra la parete interna del cassero e la generatrice dell'armatura più vicina, individua il cosiddetto "copriferro nominale". Il copriferro nominale è la somma di due contributi, il copriferro minimo e la tolleranza di posa.

Per il calcolo del copriferro minimo si fa riferimento a NTC2018 ed alla relativa Circolare Esplicativa 2019, con particolare riferimento alle seguenti tabelle; si precisa che la Tabella C4.1.IV fa riferimento ad una Vita Nominale V_n di 50 anni, come il caso in oggetto.

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Tabella C4.1.IV Copriferri minimi in mm

			barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
C_{min}	C_o	ambiente	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C28/35	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

Nel caso in oggetto, si fa riferimento a condizioni ambientali "Molto aggressive", associate alla classe di esposizione maggiormente gravosa per le strutture in c.a. oggetto del presente progetto, ovvero XF4.

Il valore del copriferro minimo è valutato secondo quanto riportato al punto C4.1.6.1.3 della Circolare 2019, con particolare riferimento alla tabella C4.1.IV, in accordo alla quale per:

- condizioni ambientali "Molto aggressive"
- calcestruzzo di classe C35/45
- elementi a piastra

si ha un copriferro minimo pari a 40 mm ($C_{min} \leq C \leq C_o$).

Si aggiunge la tolleranza di posa, pari a 10 mm.

Si ottiene pertanto un copriferro nominale pari a 40 mm + 10 mm = **50 mm** per tutti gli elementi strutturali definitivi.

IN.SPE SRL INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 63
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026

13 Classe di esecuzione strutture metalliche definitive

La determinazione della classe di esecuzione avviene nella fase di progettazione strutturale in cui vengono valutate le specifiche per la progettazione e la realizzazione della struttura.

La determinazione della classe di esecuzione viene fatta tenendo conto delle disposizioni nazionali, consultando, e collaborando in tale processo decisionale con tutte le figure che intervengono nella realizzazione dell'opera (costruttore, proprietario, responsabile del progetto) e seguendo le disposizioni nazionali nel luogo di utilizzo della struttura.

La procedura raccomandata per la determinazione della classe di esecuzione avviene in tre fasi:

1. Selezione di una classe di importanza, espressa in termini di conseguenze prevedibili sia umane, che economiche o ambientali, di un guasto o di un cedimento di una componente.
2. Selezione di una categoria di servizio e di una di categoria di produzione.
3. Determinazione della classe di esecuzione dei risultati delle due scelte sopra riportate secondo il prospetto B3 della UNI EN 1090-2. Fattori di amministrazione per la scelta della classe di esecuzione.

13.1 Classe di importanza

Nell'Eurocodice 0_EN 1990 "Criteri generali di progettazione" all'appendice B Tabella B1 "differenziazione dell'affidabilità strutturale per le costruzioni" vengono riportate le classi di conseguenza in caso di malfunzionamento della struttura, definite in base all'impatto sulla popolazione, ambiente, vite umane, sociali.

CLASSE DI CONSEGUENZA (CCi)		DESCRIZIONE
CC3	Impatto elevato	Gravi conseguenze per perdite di vite umane, economiche o sociali. Oppure gravi conseguenze per l'ambiente
CC2	impatto medio	Conseguenze di media entità per perdite di vite umane, economiche, sociali, oppure considerevoli conseguenze per l'ambiente.
CC1	basso impatto	Lievi conseguenze per perdite di vite umane, economiche, sociali, oppure basse o trascurabili conseguenze per l'ambiente.

Rischi connessi con l'esecuzione

Tali pericoli possono derivare dalla complessità dell'esecuzione dei lavori e dalla incertezza nella esposizione e nelle azioni della struttura che possono evidenziare difetti nella struttura durante il suo utilizzo.

Rischi potenziali sono connessi in particolari con:

- fattori di servizio derivanti dalle azioni di cui la struttura e le sue parti possono essere esposte durante il montaggio, l'utilizzo, e i livelli di sollecitazione nei componenti in relazione alla loro resistenza

IN.SPE SRL INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 64
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026

- fattori di produzione derivanti dalla complessità della realizzazione della struttura e delle sue componenti, per esempio, applicazione di particolari tecniche, procedure o controlli.

Per spiegare questa differenziazione dei rischi in categorie di servizio sono state introdotte le categorie di produzione.

13.2 Categoria di produzione

La categoria di produzione può essere determinata sulla base del prospetto B.2. delle UNI EN 1090:2

CATEGORIA DI PRODUZIONE (PC)		
PC1	no saldature e acciai con grado < S355	- Componenti non saldati e realizzati con qualunque grado di acciaio
		- Componenti saldati realizzati con acciaio di grado inferiore a S355
PC2	componenti saldati e acciaio con grado ≥ S355	- Componenti saldati realizzati con acciaio di grado S355 e superiore
		- Componenti essenziali per l'integrità strutturale che vengono assemblati tramite saldatura sulla costruzione in situ
		- Componenti con formatura a caldo oppure che abbiano ricevuto un trattamento termico durante la produzione
		- Componenti di tralicci CHS che richiedono taglie profilature

13.3 Categoria di servizio- Rischi connessi con l'utilizzo della struttura

La categoria di servizio può essere determinata sulla base del prospetto B.1. delle UNI EN 1090:2

CATEGORIA DI SERVIZIO (SC)		DEFINITE IN BASE ALLE SOLLECITAZIONI PREVISTE (dinamiche / statiche)	ESEMPI
SC1	sollecitazione statica	- Strutture e componenti progettati per azioni quasi-statiche	(Esempio: Edifici)
		- Strutture e componenti per connessioni progettate per resistere ad azioni sismiche in regioni a bassa intensità sismica e DCL	DCL: Comportamento strutturale poco dissipativo (EN 1998 – Prospetto 6.1)
		- Strutture e componenti progettati per azioni a fatica da gru (Classe S0)	

CATEGORIA DI SERVIZIO (SC)		DEFINITE IN BASE ALLE SOLLECITAZIONI PREVISTE (dinamiche / statiche)	ESEMPI
SC2	sollecitazione dinamica a fatica	- Strutture e componenti progettati per azioni a fatica in accordo con EN 1993	(Esempio: ponti ferroviari e stradali, gru (da S1 a S9), strutture suscettibili a vibrazioni determinate dall'azione del vento, gru oppure macchine con funzione rotazionale)
		- Strutture e componenti le cui connessioni sono progettate per azioni sismiche in regioni con medio ed alto rischio sismico e in DCM e DCH	Comportamento strutturale (EN 1998 – Prospetto 6.1) DCM: mediamente dissipativo DCH: Altamente dissipativo

Determinazione della classe di esecuzione per la carpenteria metallica

CLASSE DI CONSEGUENZA = CC2

CLASSE DI SERVIZIO = SC2

CATEGORIA DI PRODUZIONE = PC2

13.4 Classe di esecuzione

La classe di esecuzione è deducibile dalla tabella riportata nella 1090-2 appendice B

Tabella di determinazione della classe di esecuzione B.3. UNI EN 1090:2							
Classi di conseguenza		CC1		CC2		CC3	
Categorie di servizio		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Categorie di produzione	PC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3	EXC3
	PC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3	EXC4

Per la carpenteria metallica della dell'impalcato in sistema misto acciaio-calcestruzzo la classe di esecuzione può essere assunta pari a **EXC3**.

IN.SPE SRL INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 66
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026

14 Classe di esecuzione strutture metalliche provvisionali

La determinazione della classe di esecuzione avviene nella fase di progettazione strutturale in cui vengono valutate le specifiche per la progettazione e la realizzazione della struttura.

La determinazione della classe di esecuzione viene fatta tenendo conto delle disposizioni nazionali, consultando, e collaborando in tale processo decisionale con tutte le figure che intervengono nella realizzazione dell'opera (costruttore, proprietario, responsabile del progetto) e seguendo le disposizioni nazionali nel luogo di utilizzo della struttura.

La procedura raccomandata per la determinazione della classe di esecuzione avviene in tre fasi:

4. Selezione di una classe di importanza, espressa in termini di conseguenze prevedibili sia umane, che economiche o ambientali, di un guasto o di un cedimento di una componente.
5. Selezione di una categoria di servizio e di una di categoria di produzione.
6. Determinazione della classe di esecuzione dei risultati delle due scelte sopra riportate secondo il prospetto B3 della UNI EN 1090-2. Fattori di amministrazione per la scelta della classe di esecuzione.

14.1 Classe di importanza

Nell'Eurocodice 0_EN 1990 "Criteri generali di progettazione" all'appendice B Tabella B1 "differenziazione dell'affidabilità strutturale per le costruzioni" vengono riportate le classi di conseguenza in caso di malfunzionamento della struttura, definite in base all'impatto sulla popolazione, ambiente, vite umane, sociali.

CLASSE DI CONSEGUENZA (CCi)		DESCRIZIONE
CC3	Impatto elevato	Gravi conseguenze per perdite di vite umane, economiche o sociali. Oppure gravi conseguenze per l'ambiente
CC2	impatto medio	Conseguenze di media entità per perdite di vite umane, economiche, sociali, oppure considerevoli conseguenze per l'ambiente.
CC1	basso impatto	Lievi conseguenze per perdite di vite umane, economiche, sociali, oppure basse o trascurabili conseguenze per l'ambiente.

Rischi connessi con l'esecuzione

Tali pericoli possono derivare dalla complessità dell'esecuzione dei lavori e dalla incertezza nella esposizione e nelle azioni della struttura che possono evidenziare difetti nella struttura durante il suo utilizzo.

Rischi potenziali sono connessi in particolari con:

- fattori di servizio derivanti dalle azioni di cui la struttura e le sue parti possono essere esposte durante il montaggio, l'utilizzo, e i livelli di sollecitazione nei componenti in relazione alla loro resistenza

IN.SPE SRL INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 67
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026

- fattori di produzione derivanti dalla complessità della realizzazione della struttura e delle sue componenti, per esempio, applicazione di particolari tecniche, procedure o controlli.

Per spiegare questa differenziazione dei rischi in categorie di servizio sono state introdotte le categorie di produzione.

14.2 Categoria di produzione

La categoria di produzione può essere determinata sulla base del prospetto B.2. delle UNI EN 1090:2

CATEGORIA DI PRODUZIONE (PC)		
PC1	no saldature e acciai con grado < S355	- Componenti non saldati e realizzati con qualunque grado di acciaio
		- Componenti saldati realizzati con acciaio di grado inferiore a S355
PC2	componenti saldati e acciaio con grado ≥ S355	- Componenti saldati realizzati con acciaio di grado S355 e superiore
		- Componenti essenziali per l'integrità strutturale che vengono assemblati tramite saldatura sulla costruzione in situ
		- Componenti con formatura a caldo oppure che abbiano ricevuto un trattamento termico durante la produzione
		- Componenti di tralicci CHS che richiedono taglie profilature

14.3 Categoria di servizio- Rischi connessi con l'utilizzo della struttura

La categoria di servizio può essere determinata sulla base del prospetto B.1. delle UNI EN 1090:2

CATEGORIA DI SERVIZIO (SC)		DEFINITE IN BASE ALLE SOLLECITAZIONI PREVISTE (dinamiche / statiche)	ESEMPI
SC1	sollecitazione statica	- Strutture e componenti progettati per azioni quasi-statiche	(Esempio: Edifici)
		- Strutture e componenti per connessioni progettate per resistere ad azioni sismiche in regioni a bassa intensità sismica e DCL	DCL: Comportamento strutturale poco dissipativo (EN 1998 – Prospetto 6.1)
		- Strutture e componenti progettati per azioni a fatica da gru (Classe S0)	

CATEGORIA DI SERVIZIO (SC)		DEFINITE IN BASE ALLE SOLLECITAZIONI PREVISTE (dinamiche / statiche)	ESEMPI
SC2	sollecitazione dinamica a fatica	- Strutture e componenti progettati per azioni a fatica in accordo con EN 1993	(Esempio: ponti ferroviari e stradali, gru (da S1 a S9), strutture suscettibili a vibrazioni determinate dall'azione del vento, gru oppure macchine con funzione rotazionale)
		- Strutture e componenti le cui connessioni sono progettate per azioni sismiche in regioni con medio ed alto rischio sismico e in DCM e DCH	Comportamento strutturale (EN 1998 – Prospetto 6.1) DCM: mediamente dissipativo DCH: Altamente dissipativo

Determinazione della classe di esecuzione per la carpenteria metallica

CLASSE DI CONSEGUENZA = CC2

CLASSE DI SERVIZIO = SC1

CATEGORIA DI PRODUZIONE = PC2

14.4 Classe di esecuzione

La classe di esecuzione è deducibile dalla tabella riportata nella 1090-2 appendice B

Tabella di determinazione della classe di esecuzione B.3. UNI EN 1090:2							
Classi di conseguenza		CC1		CC2		CC3	
Categorie di servizio		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Categorie di produzione	PC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3	EXC3
	PC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3	EXC4

Per la carpenteria metallica della dell'impalcato in sistema misto acciaio-calcestruzzo la classe di esecuzione può essere assunta pari a **EXC2**.

IN.SPE _{SRL} INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 69
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026

15 Interferenze

Come concordato nelle riunioni di coordinamento saranno, comunque, necessari alcuni accorgimenti, quali lo spostamento entro le tolleranze consentite dai cablaggi presenti, l'interruzione del passaggio di gas e/o corrente ad alta tensione durante le lavorazioni (a titolo esemplificativo i sottoservizi ubicati in corrispondenza delle spalle).

	Comune di Crema	Pag. 70
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026

16 Fasi di cantiere

Di seguito si riportano le fasi di cantiere previste.

1	Pulizia aree, taglio vegetazione e allestimento cantiere
2	Realizzazione platea su micropali e piste di cantiere
3	Lavorazioni spalle e pila 2 (in golena)
4	Realizzazione fondazioni travi provvisionali in corrispondenza spalle e pila 2 (in golena)
5	Montaggio ponteggio autoportante
6	Lavorazioni pila 1 (in alveo)
7	Lavorazioni estradosso travi storiche (sabbatura,interventi locali, verniciatura)
8	Completamento allestimento cantiere, posa recinzione e segnaletica alle estremità del ponte
9	Montaggio travi provvisionali a monte e a valle del ponte
10	Taglio e rimozione impalcato esistente, con recupero dei traversi storici (compreso ripristino)
11	Lavorazioni sulle testate di spalle e pile compreso appoggi
12	Lavorazioni porzione intermedia ed inferiore travi storiche (sabbatura, interventi locali, verniciatura)
13	Varo bitravi
14	Montaggio nuovo impalcato metallico e traversi storici
15	Rimozione travature provvisionali
16	Posa lastre predalles, posa armature, cassatura
17	Getto cls impalcato e costruzione nuovi cordoli
18	Montaggio strutture nuove passerelle metalliche e staffe per sottoservizi bordo ponte
19	Rimozione passerella e staffe esistenti
20	Installazione barriere di sicurezza
21	Posa manto di impermeabilizzazione
22	Posa pavimentazione stradale, segnaletica verticale ed orizzontale, impianto di illuminazione stradale e prova di carico
23	Installazione sistema di raccolta acque meteoriche
24	Rimozione cantiere e ripristino stato dei luoghi

La durata totale dei lavori è prevista pari a **47 settimane**.

Per ulteriori dettagli si rimanda al cronoprogramma.

IN.SPE _{SRL} INGEGNERI SPECIALISTI	Comune di Crema	Pag. 71
	Interventi di rinforzo strutturale e consolidamento del ponte di via Cadorna Progetto Esecutivo	Relazione generale
		Rev. 1 – 07/2026

17 Importo dei lavori

Come riportato nel computo metrico estimativo di seguito si riporta l'importo dei lavori.

OG3 - Strade, autostrade, ponti, viadotti, ferrovie, linee tranviarie, metropolitane, funicolari, e piste aeroportuali, e relative opere complementari	2'182'200,86 €
OS18-A - Componenti strutturali in acciaio	1'838'393,69€
OS21 - Opere strutturali speciali	502'467,99€
TOT.	4'523'062,54€

Restano esclusi dal presente computo metrico estimativo gli apprestamenti per la sicurezza, in quanto contenuti nel computo metrico estimativo dei costi della sicurezza.